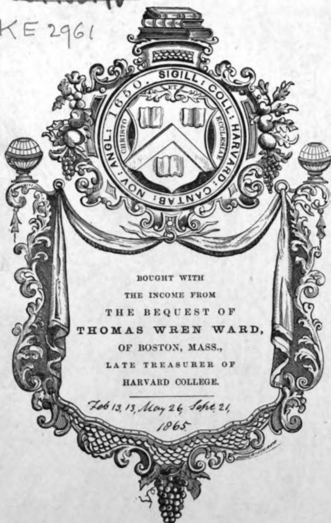



SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

TOME CINQUIÈME

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

AMSTERDAM. — Van Bakkenes.
BRUXELLES. — Lebègue et Cᵉ.
LONDRES. — Barthès et Lowell.
MADRID. — Bailly-Baillère, Duran, Poupart.
MOSCOU. — Gautier.
NAPLES. — Pellerano.
NEW-YORK. — Bossange et fils.
SAINT-PÉTERSBOURG. — J. Issakoff
TURIN. — Bocca.
VARSOVIE. — Gebethner.

1864

Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. le baron Charles **DUPIN**, de l'Académie des Sciences.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. *Professeur :* M. **DE LA GOURNERIE**, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **TRESCA**, sous-directeur du Conservatoire.

CONSTRUCTIONS CIVILES. *Professeur :* M. **TRÉLAT**, architecte.

PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Edmond **BECQUEREL**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Eug. **PÉLIGOT**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **PAYEN**, de l'Académie des Sciences.

AGRICULTURE. *Professeur :* M. **MOLL**, de la Société impériale d'Agriculture.

CHIMIE AGRICOLE. *Professeur :* M. **BOUSSINGAULT**, de l'Acad. des Sciences.

TRAVAUX AGRICOLES ET GÉNIE RURAL. *Professeur :* M. **HERVÉ MANGON**, Ingénieur des ponts et chaussées.

FILATURE ET TISSAGE. *Professeur :* M. **ALCAN**, ingénieur civil.

TEINTURE, APPRÊT ET IMPRESSION DES TISSUS. *Professeur :* M. **PERSOZ**, directeur de la Condition des soies.

LÉGISLATION INDUSTRIELLE. *Professeur :* M. **WOLOWSKI**, de l'Académie des Sciences morales et politiques.

ADMINISTRATION ET STATISTIQUE INDUSTRIELLES. *Professeur :* M. J. **BURAT**.

Professeur honoraire : M. le Général **MORIN**, de l'Académie des Sciences.

Conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers :

MM. le général **MORIN**, directeur du Conservatoire, *président*.
SCHNEIDER, vice-président du Corps législatif, directeur des usines du Creusot, *vice-président*.
TRESCA, sous-directeur du Conservatoire, *secrétaire*.

MM. les **PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE**.

Et MM. **MARY**, inspecteur général des ponts et chaussées.
COUCHE, ingénieur en chef, professeur à l'École impériale des Mines.
DAILLY, de la Société impériale d'Agriculture.
FÉRAY, d'Essonne, manufacturier.
FROMENT, constructeur d'instruments de précision.
HOUEL, ingénieur des usines Cail et Cie.
DIETERLE, ancien chef des travaux d'art à la manufacture impériale de Sèvres.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

Paris. — Imprimerie de P.-A BOURDIER et Cie, 30, rue Mazarine.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

TOME CINQUIÈME

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

AMSTERDAM. — Van Bakkeness.
BRUXELLES. — Lebègue et Cᵉ.
LONDRES. — Barthès et Lowell.
MADRID. — Duran, Poupart.
MOSCOU. — Gautier.
NAPLES. — Pellerano.
NEW-YORK. — Bossange et fils.
SAINT-PÉTERSBOURG. — J. Issakoff
TURIN. — Bocca.
VARSOVIE. — Gebethner.

1864

Ward

1865 Feb 13 & 13
May 26
Dec 21

PROCÈS-VERBAL DE COMPARAISON

ENTRE LES ÉTALONS PROTOTYPES

DU MÈTRE ET DU KILOGRAMME

CONSERVÉS AUX ARCHIVES

DE L'EMPIRE

et ceux du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Par une décision en date du 5 octobre 1863, Son Excellence monsieur le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, a décidé qu'une commission, composée de M. le général Morin, président, directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers, et de MM. Tresca, sous-directeur et professeur de mécanique au Conservatoire, Silbermann, conservateur des collections, et Froment, constructeur d'instruments de précision et membre du conseil de perfectionnement du Conservatoire, était chargée de faire une vérification officielle entre les étalons prototypes des mesures métriques conservées aux archives, et ceux qui, déposés au Conservatoire impérial des Arts et métiers, sont plus particulièrement destinés aux comparaisons à faire avec les étalons des divers gouvernements qui adoptent le système métrique.

M. le directeur général des archives a mis à la disposition de la commission les prototypes à comparer, et les locaux nécessaires pour la vérification à faire; il a même assisté aux opérations principales de cette vérification.

Avant de procéder aux comparaisons dont il s'agit, la commission a cru qu'il était nécessaire de décrire les divers étalons sur lesquels les comparaisons doivent être faites.

Étalon prototype du mètre, conservé aux Archives de l'Empire.

L'étalon prototype des Archives est une règle en platine, sans aucune inscription ni marque quelconque. Sa largeur est de 25 millimètres, son épaisseur de 3,5 millimètres; elle est terminée à ses extrémités par des faces perpendiculaires à sa longueur et qui doivent comprendre entre elles la longueur vraie du mètre. Elle constitue ainsi un mètre que l'on désigne ordinairement sous le nom de mètre à bout. Les faces extrêmes, examinées à la loupe, portent des rayures très-marquées, résultant de frottements faits antérieurement.

Cet étalon est conservé aux Archives dans l'armoire que l'on désigne sous le nom d'armoire de fer : il est renfermé dans une boîte en acajou, avec gaîne en velours rouge, et la boîte porte une plaque rectangulaire en cuivre blanchi, avec cette indication :

MÈTRE
CONFORME A LA LOI DU 18 GERMINAL AN III,
PRÉSENTÉ LE 4 MESSIDOR AN VII.

Et en dehors du cadre de la vignette :

FAIT PAR LENOIR.

Étalon prototype du mètre, déposé au Conservatoire impérial des Arts et métiers.

L'étalon prototype du Conservatoire est une règle en platine, d'une largeur de 25 millimètres, et d'une épaisseur de 3,5 millimètres. Elle est terminée à ses extrémités par des faces perpendiculaires à sa longueur, et qui doivent comprendre entre elles la longueur du mètre. Ces faces, examinées à la loupe, sont mieux conservées que celles du mètre prototype des Archives. Sur l'une de ses faces principales et à trois centimètres de chacune de ses extrémités, cette règle est poinçonnée de deux marques ovales, dont le fond est sillonné de hachures, seulement sur les trois quarts de sa surface.

Sur cette même face, deux traits fins, s'étendant respectivement depuis le bord extrême jusqu'à un centimètre environ de ce

bord, ont été précédemment faits dans le but évident d'indiquer le milieu du champ de la règle.

Cet étalon est renfermé dans une boîte en acajou en tout semblable à celle de l'étalon des archives; cette boîte, garnie en velours rouge, porte une plaque en cuivre blanchi, identique avec celle du mètre des Archives. Son inscription est la même :

MÈTRE
CONFORME A LA LOI DU 18 GERMINAL AN III,
PRÉSENTÉ LE 4 MESSIDOR AN VII.

Et en dehors du cadre de la vignette :

FAIT PAR LENOIR.

Étalon prototype du kilogramme, conservé aux Archives de l'Empire.

Cet étalon est formé d'un cylindre en platine dont les bords sont légèrement arrondis.

Ce cylindre ne porte aucune marque ni inscription; ses dimensions déterminées précédemment par M. Yvon Villarceau, à l'aide du comparateur spécial de Gambey, que possède le Conservatoire, sont, à 7°,30 centigrades de température, les suivantes :

Diamètre moyen.	39.461 millimètres.
Hauteur moyenne. . . .	39.7887 —
Volume calculé.	48.6616 centimètres cubes.

Ce kilogramme est conservé dans l'armoire des Archives, désignée sous le nom d'armoire de fer; il est renfermé dans une boîte octogonale en chagrin avec couvercle bombé. L'intérieur est garni en velours ponceau.

Cette boîte se ferme à clef; deux crochets en argent servent à la tenir fermée, et elle porte en dessus une plaque ronde, en même métal, avec cette inscription :

KILOGRAMME
CONFORME A LA LOI DU 18 GERMINAL AN III,
PRÉSENTÉ LE 4 MESSIDOR AN VII,
FORTIN F.

Étalon prototype du kilogramme, déposé au Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Cet étalon est formé d'un cylindre en platine, dont les bords sont légèrement arrondis.

Ce cylindre ne porte aucune marque ni inscription.

Ses dimensions déterminées précédemment par M. Yvon Villarceau, à l'aide du comparateur spécial de Gambey, que possède le Conservatoire, sont, à 7°,60 de température, les suivantes :

Diamètre moyen.	40.403 millimètres.
Hauteur moyenne. . . .	40.6492 —
Volume calculé.	52.1159 centimètres cubes.

Ce volume est donc plus grand que celui du prototype des Archives de 3,5 centimètres cubes environ.

Ce kilogramme est renfermé dans une boîte octogonale en chagrin avec couvercle bombé. L'intérieur est garni en velours, conservant encore une nuance ponceau, identique à celle des Archives.

Cette boîte se ferme également à clef; deux crochets en argent servent à la maintenir fermée, et elle porte en dessus une plaque ronde, en même métal, avec cette inscription :

KILOGRAMME
CONFORME A LA LOI DU 18 GERMINAL AN III,
PRÉSENTÉ LE 4 MESSIDOR AN VII.
FORTIN F.

Tous les accessoires sont identiques avec ceux de la boîte du kilogramme prototype des Archives.

La boîte contient un papier de forme rectangulaire et de 73 millimètres sur 29.

Sur l'une des faces est l'inscription suivante :

Ce poids a été comparé le 18 octobre 1811 à l'étalon prototype, et a été reconnu parfaitement identique avec lui; il y en a eu procès-verbal [1].

1. Ce procès-verbal, qui existe encore aux archives, établit que la vérification a été faite sur une nouvelle balance de Fortin, à l'air libre et sans correction de

Sur l'autre face de ce papier on lit également :

Le 19 novembre 1840 ce poids a été comparé à l'étalon prototype déposé aux Archives, et a été reconnu parfaitement identique avec lui.

Procès-verbal de l'opération a été dressé.

Opérations préliminaires de la Commission.

Avant de procéder aux comparaisons ordonnées, la commission a délibéré sur les moyens à employer pour opérer avec le plus de sécurité.

En ce qui concerne la comparaison des mètres, elle a reconnu qu'elle pourrait se faire avec une précision suffisante sur le comparateur de M. Silbermann, avec les modifications suivantes, que M. Froment s'est chargé d'exécuter :

1° Remplacement des palpeurs inclinés par des palpeurs verticaux, placés dans le prolongement de la tige qui porte le limbe divisé ;

2° Enlèvement, sur un des côtés seulement du comparateur, des arrêts qui rendent difficile la mise en place des mètres à comparer ;

3° Rabotage de la règle en platine, formant thermomètre de Borda, et sur laquelle les mètres à comparer sont placés, de manière à réduire la surface de contact entre ces deux règles ;

4° Enlèvement des mâchoires de la pince qui servait à rappeler le mètre en expérience, cette opération se faisant plus facilement à la main.

La commission a décidé, en outre, que la comparaison se ferait sans immersion dans la glace fondante et à la température ambiante seulement, en choisissant, pour cette opération, le moment où cette température serait très-peu différente de 0.

En ce qui concerne la comparaison du kilogramme : considérant que la différence du volume est la cause de nombreuses corrections, qu'elle rendrait difficile, par conséquent, la comparaison ordinaire du kilogramme du Conservatoire avec ceux qui sont présentés par les gouvernements étrangers à la vérification,

déplacement. Les deux poids sont exacts à moins de 2 milligrammes, dans ces conditions.

la commission a décidé, sur la proposition de M. Tresca, qu'il serait préférable de faire exécuter un nouveau kilogramme en platine de même volume et, autant que possible, de même poids que celui des Archives.

L'exécution de deux kilogrammes semblables a été confiée à MM. Collot frères.

L'un de ces kilogrammes, qui sera directement comparé, sous le rapport du poids et du volume avec le kilogramme prototype des Archives, sera plus particulièrement destiné aux comparaisons à faire ultérieurement avec les étalons des gouvernements étrangers.

La comparaison entre ce kilogramme copié et le kilogramme des Archives sera faite, par la commission, à une température très-rapprochée de 0.

Kilogramme copié (C' N° 1), *exécuté par MM. Collot frères, pour les vérifications du Conservatoire impérial des Arts et métiers.*

Ce kilogramme est formé d'un cylindre en platine, dont les dimensions seront ci-après déterminées, et, autant que possible, identiques à 0° avec celles du kilogramme prototype des Archives.

Le platine de la fabrication actuelle ayant une plus grande densité que celui qui a servi à l'exécution du kilogramme des Archives, le cylindre a été percé, suivant son axe, sur les deux tiers de sa hauteur, d'un trou cylindrique d'un diamètre de un centimètre, et ce trou a été fermé par un bouchon à vis, ajusté à serrement dur.

Au milieu de ce bouchon, qui est d'ailleurs parfaitement affleuré avec la face supérieure du cylindre, est ménagé un trou de goupille, de 2^{mm} de diamètre, devant servir à l'ajustement définitif du kilogramme.

Une goupille, d'une longueur de 22^{mm}, calibrée de manière à pouvoir entrer à frottement dur dans le trou préparé pour la recevoir, est provisoirement et incomplétement introduite dans cette ouverture, qu'elle est destinée à boucher.

Les vérifications préliminaires permettent d'espérer que l'identité sera aussi complète que possible entre ce kilogramme et le kilogramme prototype des Archives.

Comparaison entre les deux mètres en platine.

La comparaison entre les deux mètres en platine s'est faite par la commission, dans le vestibule central du palais des Archives. Les fenêtres de ce vestibule avaient été ouvertes dès le matin, de manière à mettre l'air de la salle en équilibre de température avec l'air extérieur.

On a toujours opéré à des températures très-voisines de 0, et la température de la règle en expérience a été chaque fois indiquée par un petit thermomètre à mercure maintenu pendant un temps suffisant sur la règle même.

Une première comparaison a été faite, le 31 janvier 1864, avec le comparateur appartenant à M. Perreaux, et qui avait déjà servi dans des comparaisons précédentes. Une seconde vérification a eu lieu, le 12 février, dans le même local, avec le comparateur de M. Silbermann, appartenant aux collections du Conservatoire.

Première comparaison avec le comparateur de M. Perreaux.

Le comparateur de M. Perreaux permet de placer la règle sur un plan horizontal; à la droite de l'instrument, l'extrémité de cette règle est palpée par une touche, solidaire avec une aiguille dont la division peut être facilement amenée en coïncidence avec une ligne de foi visée par un microscope.

A l'autre extrémité de l'instrument, une autre touche, maintenue, par un ressort, en contact avec l'extrémité opposée de la règle, est mobile autour d'un axe vertical que l'on peut approcher ou éloigner, au moyen d'une vis micrométrique, et l'aiguille qui porte la touche est prolongée au delà de cet axe, de manière que son extrémité graduée se déplace sur un limbe également gradué, placé d'une manière fixe sous un second microscope.

Dans les comparaisons effectuées, on a toujours amené la coïncidence, d'abord sur le micromètre de droite, ensuite, au moyen de la vis, sur le micromètre de gauche.

Les résultats des observations sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau des observations faites le 31 janvier 1864, sur le comparateur de M. Perreaux, pour la comparaison entre le mètre prototype (A) *des Archives et le mètre prototype* (C) *du Conservatoire.*

DÉSIGNATION des mètres en expérience.	INDICATION de l'heure.	TEMPÉRATURES des règles.	LECTURES DU CADRAN de la vis micrométrique.	
C..........	$8^h.40'$	+ 1.7		+ 0.0
A..........	8 .51	+ 1.4	+ 2.0	
C..........	9 .4	+ 1.3		+ 0.6
A..........	9 .19	+ 1.3	+ 0.4	
C..........	9 .26	+ 0.9		— 0.5
A..........	9 .37	+ 0.7	+ 0.9	
C..........	9 .45	+ 0.9		— 0.4
	Totaux.....		+ 3.3	— 0.3
	Moyennes....	+ 1°.17	+ 1.10	— 0.075
	Différences......		0.0	— 1.175

Pour traduire la différence qui précède en fractions de mètre, il suffit de se reporter à la graduation du comparateur de M. Perreaux, qui a servi aux comparaisons du 12 février.

Une division du cadran équivaut à 1/400 de millimètre ou à $0{,}0025^{mm}$. Mais lorsque le centre d'articulation se déplace de cette quantité, le déplacement correspondant de la touche est augmenté dans le rapport de 1,1272 [1], ce qui donne pour chaque

1. Pour obtenir la valeur exacte de ce rapport, on a placé sur le comparateur un mètre formant obstacle fixe, et l'on a fait mouvoir le cadran de la vis de manière à faire parcourir 2 millimètres sur la division du limbe du micromètre, à l'extrémité de l'aiguille qui porte la touche.

La moyenne de cinq lectures a donné 90.28 divisions sur le cadran de la vis, ou un déplacement de $\frac{90.28}{400} = 0.2257$ millimètres pour le centre d'articulation du levier.

L'extrémité du petit bras du levier restant fixe, et le centre d'articulation se déplaçant de 0.2257 millimètres, l'extrémité du grand bras de levier, s'est ainsi déplacée de 2 millimètres ; il y a donc entre le déplacement du centre d'articulation, et celui de l'extrémité du petit bras de levier, lorsque l'extrémité du grand bras de levier reste fixe en rapport de :

$$\frac{2}{2-0{,}2257} = \frac{2}{1.7743} = 1{,}1272.$$

déplacement d'une division une différence de longueur de $0,0025 \times 1,1272 = 0,002823^{mm}$.

Les lectures positives correspondent d'ailleurs à une diminution de longueur dans la règle en expérience.

Il résulte de ces indications, que la différence mesurée sur le cadran de la vis de $-1,175$ division correspond à $0,002823^{mm} \times 1,175 = + 0,0033^{mm}$, et qu'ainsi le mètre en platine du Conservatoire serait plus long que celui des Archives, à la température moyenne de $+1^{\circ}17$ centigrade, de $0,0033^{mm}$ et que sa valeur serait de 1,000 003 3 mètre.

Deuxième comparaison avec le comparateur de M. Silbermann.

Le comparateur de M. Silbermann reçoit le mètre à vérifier sur une règle en platine formant thermomètre de Borda et destinée à accuser la constance de la température.

Les deux extrémités de la règle sont touchées par de petits palpeurs, légèrement convexes, faisant partie de deux aiguilles verticales respectivement placées sous deux microscopes. On place à la main la règle de manière que l'aiguille du palpeur de droite soit, sur la division centrale, en coïncidence avec une ligne de foi tracée sur le support, et l'on déplace avec une vis micrométrique à tête graduée, le palpeur de gauche, jusqu'à ce qu'une semblable coïncidence ait lieu sous le second microscope.

Les chiffres des observations sont consignés dans le tableau suivant, dans lequel on a désigné sous le nom de lecture des coïncidences sur le cadran de la vis, les divisions lues au moment où la coïncidence était observée.

Tableau des observations faites le 12 février 1864 sur le comparateur de M. Silbermann, pour la comparaison entre le mètre prototype (A) *des Archives et le mètre prototype* (C) *du Conservatoire.*

DÉSIGNATION du mètre en expérience.	DÉSIGNATION de l'heure.	TEMPÉRATURE indiquée par le thermomètre. 1.	2.	DIVISION du pyromètre du comparateur.	LECTURES des coïncidences sur le cadran de la vis.	
A........	8.40	+1.10	1.10	32	404.9	
C........	8.48	1.20	1.15	32		408.2
A........	9.4	1.20	1.00	32	404.9	
C........	9.17	1.35	1.40	32		408.0
A	9.32	1.40	1.40	34	404.3	
C........	9.50	1.50	1.40	35		407.2
A..	10.2	1.70	1.65	37	404.0	
Totaux............		1.35	1.30		1618.1	1223.4
Moyennes.........					404.52	407.80
Différence........					0.00	+ 3.28

Pour traduire la différence qui précède en fraction de mètre, il suffit de se reporter à la graduation du comparateur.

La vis micrométrique a un pas de 0.5 millimètre; la tête de cette vis est divisée en 500 parties, en telle sorte que chaque division du cadran correspond à une différence de longueur de 0.001 millimètre.

Les lectures positives faites sur le cadran correspondent d'ailleurs à une augmentation de longueur de la règle en expérience.

La différence de 3.28 divisions, accusée par le tableau, correspond donc à un excès de longueur, pour le mètre du Conservatoire, de 0.003 28 millimètre, et sa longueur vraie, par rapport au mètre prototype des Archives, serait 1.000 003 28 à une température moyenne de $+1^{\circ}.30$ centigrade.

A l'égard de l'observation de cette température, il est bon d'ajouter que l'on a placé sur les mètres en expérience un petit thermomètre métallique à cadran, qui en prenait immédiatement la température, et dont le zéro a été vérifié le même jour en plaçant la cuvette de sa boîte sur un morceau de glace fondante.

Concordance entre les résultats des deux comparaisons.

En opérant comme il vient d'être indiqué, avec deux instruments différents, on a trouvé le 31 janvier, avec le comparateur de M. Perreaux, pour la valeur du mètre du Conservatoire. 1.000 003 30
à la température moyenne de + 1°.17.

Le 12 février, avec le comparateur de M. Silbermann, on a trouvé pour la valeur de ce même mètre 1.000 003 28
à la température moyenne de + 1°.30.

1.000 003 29

La concordance de ces chiffres nous permet de considérer leur moyenne comme offrant toutes les garanties d'exactitude désirables.

Comparaison entre les deux kilogrammes en platine.

La base principale du système adopté pour les comparaisons ultérieures reposant sur une égalité de volume aussi complète que possible entre le kilogramme prototype des archives et la copie qui en a été faite pour le Conservatoire par MM. Collot, on a dû procéder avec soin à la vérification sous ce rapport.

On s'est servi à cet effet du comparateur construit, pour cette opération spéciale, par M. Gambey, et qui accuse facilement la lecture du centième de millimètre.

L'instrument a été nettoyé et mis en état par M. Froment, et les kilogrammes ont été placés et retournés au moyen d'une pince, sans que jamais l'observateur ne les touche avec les mains.

La température de l'instrument, estimée avec le petit thermomètre métallique dont il a déjà été parlé, n'a varié qu'entre + 3° et + 4° centigrades. Le tableau suivant contient tous les éléments de ce mesurage.

Tableau des mesures prises le 12 *février* 1864, *avec le comparateur de Gambey, pour la comparaison entre le kilogramme prototype des Archives et le kilogramme copié* (C' N° 1) *du Conservatoire.*

Détermination de la lecture de contact ou de collimation :

			Température.
Au commencement. .	34.375	Au commencement. .	3°.
A la fin.	34.375	A la fin.	4°.
Moyenne.	34.375		

HAUTEUR moyenne du kilogramme A, suivant la circonférence moyenne, dans 8 positions différentes.	DIAMÈTRE moyen du kilogramme A, au quart de la hauteur totale à partir de chaque base.	HAUTEUR moyenne du kilogramme C', suivant la circonférence moyenne, dans 8 positions différentes.	DIAMÈTRE moyen du kilogramme C', au quart de la hauteur totale à partir de chaque base.
mil.	mil.	mil.	mil.
74.20	73.88	74.18	73.84
74.18	73.87	74.18	73.84
74.16	73.88	74.17	73.85
74.15	73.88	74.18	73.84
74.15	73.86	74.17	73.83
74.18	73.87	74.17	73.83
74.18	73.85	74.18	73.83
74.17	73.87	74.17	73.82
74.171	73.870	74.175	73.835

H = 74.171 — 34.375 = 39.796 H = 74.175 — 34.375 = 39.800.
D = 73.870 — 34.375 = 39.495 D = 73.835 — 34.375 = 39.460.

Les hauteurs ont été mesurées sur la circonférence moyenne des bases, en faisant successivement tourner chaque kilogramme de 45° autour de son axe.

Le diamètre a été pris au quart de la hauteur à partir de chaque base, en faisant successivement tourner chaque kilogramme de 90° autour de son axe.

D'après ces indications [1], le volume du kilogramme des Archives serait de 48.7544 centimètres cubes.

Le volume du kilogramme du Conservatoire, de 48.6729 centimètres cubes.

1. Le volume du kilogramme A des archives est donné par le produit

$$\pi \times \frac{\overline{0.039495}^2}{4} \times 0{,}039796$$

Log. π		=	0,4971499
2 log.	0,039495	=	$\bar{3}$,1930842
Log.	0,039796	=	$\bar{2}$,5998394
C[t] log. 4		=	$\bar{1}$,3979400
Log. V		=	$\bar{5}$,6880135

V = 0^{mc},0000487544

Le volume du kilogramme C', copié du Conservatoire est donné par le produit

$$\pi \times \frac{\overline{0.03946}^2}{4} \times 0{,}039800$$

Log. π		=	0,4971499
2 log.	0,039460	=	$\bar{3}$,1923142
Log.	0,039800	=	$\bar{2}$,5998831
C[t] log. 4		=	$\bar{1}$,3979400
Log. V		=	$\bar{5}$,6872872

V = 0^{mc},0000486729.

Et la différence entre les deux volumes serait seulement de 0.0815 centimètre cube.

Cette différence de 81 millimètres cubes est tout à fait négligeable dans les corrections de déplacement, car elle n'équivaut, dans les circonstances ordinaires, qu'à une perte de poids dans l'air de $0^{mc},000\,000\,0815 \times 1^{k},293 = 0,105$ milligramme, et la correction qui en résulterait pour les pesées ne pourrait jamais s'élever qu'à une très-faible partie de cette perte de poids.

Comparaison des poids des deux kilogrammes.

La comparaison des poids a exigé plusieurs séances.

Celle du 31 janvier a été employée à l'ajustage du kilogramme du Conservatoire par rapport au kilogramme des Archives, et la vérification qui en a été la suite s'est faite les 3 et 12 février.

Le 3 février, la température était trop éloignée de 0 pour que les résultats soient considérés comme définitifs, encore bien que, par suite de l'identité des volumes, les circonstances atmosphériques ne pussent exercer qu'une influence insignifiante.

Nous indiquerons successivement les résultats des deux opérations distinctes.

Tableau des observations faites le 3 *février* 1864, *au moyen de la balance de M. Bianchi, pour la comparaison entre le kilogramme prototype* (A) *des Archives, et le kilogramme copié* (C N°1) *du Conservatoire.*

Le kilogramme en expérience est toujours équilibré par un même kilogramme C'N°2 du même volume que les deux autres.

Température au commencement + 6°.0
— à la fin + 6°.0

Désignation du kilogr. placé sur le plateau.	Amplitude des oscillations successives.		Déviation moyenne de l'aiguille.	Moyenne des déviations.
A + 2.5 millig....	+ 0.40	— 1.50	— 0.55	
—	— 0.05	— 1.30	— 0.67	
—	— 0.20	— 1.05	— 0.62	
—	— 0.40	— 1.00	— 0.70	
—	— 0.50	— 0.90	— 0.70	— 0.65
C' + 2.5 millig....	— 0.10	— 2.50	— 1.30	
—	— 0.50	— 2.30	— 1.40	
—	— 0.80	— 2.05	— 1.42	
—	— 0.90	— 1.80	— 1.35	
—	— 1.05	— 1.70	— 1.37	— 1.37
		Différence..................		— 9.72

Il résulte de ces observations, que le kilogramme du Conservatoire fait pencher la balance de 0.72 division du cadran correspondant à l'aiguille, en plus de la déviation, dans le même sens, produite par le kilogramme des Archives.

Pour apprécier en poids cette différence, on a retiré 0.5 milligramme au poids qui accompagnait le kilogramme du Conservatoire et l'on a trouvé, par l'observation des oscillations, que la déviation se trouvait réduite à — 0.28[1]. Une diminution de poids de 0.5 milligramme correspond donc à une différence de déviation de 1.37 division — 0.28 = 1.09 division, et si l'on calculait proportionnellement, la différence 0.72 entre les deux kilogrammes correspondrait à

$$0.72 \times \frac{0.5}{1.09} = 0.33 \text{ milligramme.}$$

Le kilogramme du Conservatoire serait donc trop lourd de 0.33 milligramme.

Les pesées comparatives du 12 février ont été faites à une température qui ne s'est pas élevée, pendant toute la durée des opérations, au-dessus de + 1.5 centigrade, et la différence entre les deux poids est un peu plus grande.

Tableau des observations faites le 12 février 1864 sur la balance de M. Bianchi, pour la comparaison entre le kilogramme prototype (A) *des Archives, et le kilogramme copié* (C'N°1) *du Conservatoire.*

Le kilogramme en expérience est toujours équilibré par un même kilogramme C', N° 2 de même volume que les deux autres.

Température au commencement + 1.0
— à la fin + 1.5

1. Pesée supplémentaire du 3 février 1864, destinée à déterminer le degré de sensibilité de la balance.

C' × 2 mill.	+ 0.65	— 1.20	— 0.275	
	+ 0.35	— 1.00	— 0.825	
	+ 0.20	— 0.75	— 0.275	
	+ 0.10	— 0.65	— 0.275	
	+ 0.00	— 0.50	— 0.250	— 0.28

DÉSIGNATION du kilogramme placé sur le plateau.	AMPLITUDE des oscillations successives.		DÉVIATION moyenne de l'aiguille.	MOYENNE des deviations.
A + 2 millig.....	+ 0.5	— 0.5	— 0.00	
—	+ 0.4	— 0.4	— 0.00	
—	+ 0.3	— 0.4	— 0.05	
—	+ 0.5	— 0.5	— 0.00	
—	+ 0.6	— 0.6	— 0.00	— 0.01
C' + 2 millig.....	— 2.8	— 1.1	— 1.95	
—	— 2.7	— 1.3	— 2.00	
—	— 2.3	— 1.4	— 1.85	
—	— 2.4	— 1.6	— 2.00	
—	— 2.3	— 1.7	— 2.00	— 1.96
	Différence.........................			— 1.95

Il résulte encore de ces observations, que le kilogramme du Conservatoire est plus lourd que le kilogramme des Archives, et que cette différence produit une déviation de l'aiguille de 1.95 division.

Pour estimer cette déviation en poids, on a enlevé l'un des deux milligrammes qui accompagnaient le poids du Conservatoire, et l'on a trouvé que cette modification produisait, par rapport à la première, une déviation de 2.70 divisions.

En estimant, par voie de proportionnalité, la déviation accusée précédemment, on trouve

$$1.95 \times \frac{1}{2.70} = 0.72 \text{ milligramme.}$$

Le kilogramme du Conservatoire serait donc, d'après cette seconde vérification, trop lourd de 0.72 milligramme.

Cette vérification ayant été faite à la température la plus voisine de 0° centigrade, et présentant d'ailleurs toutes les conditions désirables de précision, la commission a été d'avis qu'il y avait lieu de ne considérer la précédente que comme une confirmation précieuse, et d'adopter pour valeur du nouveau kilogramme 1.000 000 72 kilogramme.

En conséquence, la goupille a été serrée dans son logement; le poinçon du Conservatoire a été légèrement imprimé sur la tête de cette goupille, et on l'a également marqué, avec un poinçon spécial, du numéro 1, indiquant qu'il est le premier en date

parmi les kilogrammes de même volume que celui des archives.

Ces conclusions étant destinées à servir de base aux vérifications ultérieures, le présent procès-verbal a été signé par les membres de la commission et par M. le directeur général des Archives pour être soumis à l'approbation de Son Excellence M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Général Morin.

Paris, le 3 mars 1864.

Comte de Laborde, H. Tresca, J.-T. Silbermann, G. Froment.

Vu et approuvé pour servir de base aux opérations de vérification officielle.

Paris, le 16 avril 1864.

Le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics,

Armand Béhic.

CHAUFFAGE ET VENTILATION

DES AMPHITHÉATRES

DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

J'ai fait connaître, dans mes *Études sur la ventilation*, les principes qui m'avaient dirigé dans l'établissement des dispositions adoptées pour le chauffage et la ventilation des amphithéâtres du Conservatoire. Ces principes fort simples se réduisent :

1° A extraire l'air vicié le plus près possible des personnes ou des lieux où il est altéré;

2° A introduire l'air nouveau le plus loin possible des personnes et à une température voisine de celle que l'on peut conserver à l'intérieur;

3° A maintenir les cabinets, les passages, les escaliers, les couloirs d'introduction dans les amphithéâtres à une température au moins égale à celle de l'intérieur, et à les munir de portes fermant d'elles-mêmes de l'extérieur à l'intérieur.

Le volume d'air nouveau à introduire par heure et par auditeur avait été fixé à 25^{mc} environ, et l'introduction, comme l'extraction, devaient se faire par le seul effet de l'aspiration.

Les résultats obtenus dans l'année 1862-63 et déjà publiés[1] ont montré avec quelle régularité les températures intérieures avaient pu être maintenues dans les deux amphithéâtres, quoique les dispositions à prendre pour le grand n'eussent pu être terminées pour cet exercice, et l'on a vu que le volume d'air total évacué s'était élevé à plus de 30000^{mc} par heure; ce qui, en sup-

1. *Etudes sur la ventilation*, t. II, p. 112 et suivantes.

posant 1000 auditeurs simultanément répartis dans les deux amphithéâtres, correspondait à 30^{mc} par heure et par personne.

Il nous restait, en 1863, à compléter l'œuvre commencée pour le grand amphithéâtre, et à constater, par les résultats du service courant de tout un semestre de cours, la marche du service et les consommations en combustible. L'hiver de 1863-64 ayant eté exceptionnellement long et assez rigoureux, les résultats obtenus peuvent être regardés comme des bases de dépenses qui ne seraient pas toujours atteintes.

L'analogie des amphithéâtres avec les salles d'assemblées, avec les grands salons de réception, montre que les dispositions qui ont réussi au Conservatoire des Arts et Métiers pourraient être également adoptées pour tant d'autres lieux où l'on voit l'élite de la population éprouver le malaise et la souffrance là où elle va chercher l'instruction ou le plaisir.

Le service ne présente aucune difficulté, et un seul chauffeur, par l'observation de quelques thermomètres convenablement placés et la manœuvre facile de quelques registres, peut assurer la marche du chauffage et de la ventilation.

Description des appareils du grand amphithéâtre.

Les conditions locales ayant permis d'adopter et d'appliquer plus complétement pour cet amphithéâtre que pour le plus petit les principes développés dans les *Études sur la ventilation*, nous donnerons dans cette note la description des dispositions exécutées.

Deux calorifères à air chaud, C et L, *fig.* 1, Pl. 21, sont destinés au chauffage de cet amphithéâtre et de ses abords, ainsi qu'à celui de l'air nouveau à y introduire.

Le plus grand, C, placé sous l'enceinte réservée, et sous la table du professeur, sert, avant l'entrée du public, au chauffage préalable de la salle, au moyen de quatre bouches FFFF, qui doivent être fermées à l'ouverture des séances.

Deux bouches EE placées dans les cabinets 1 et 2, qui conduisent à l'enceinte réservée, et deux bouches DD dans le

laboratoire commun 3, servent à établir dans ces abords inférieurs une température assez élevée pour que le tirage qui se fait par les portes et même pour que l'ouverture complète de ces portes, pendant l'introduction et la sortie des appareils, ne donnent jamais lieu à des rentrées d'air incommodes. Il suffit, pour atteindre ce but, que la température de ces pièces d'accès soit tenue un peu supérieure à celle de l'intérieur de la salle.

Le petit calorifère L sert de même à maintenir dans le vestibule 4 du rez-de-chaussée et dans la cage 5 de l'escalier qui conduit au haut de l'amphithéâtre, une température un peu plus élevée que celle de la salle, afin que l'ouverture des portes extérieures et celle des portes intérieures n'aient pas d'inconvénients.

Toutes les portes d'accès de l'extérieur sont disposées de manière à se fermer d'elles-mêmes, de dehors en dedans, en obéissant à l'action de l'appel intérieur, ce qui a pour objet de réduire le plus possible les rentrées d'air extérieur. Des dispositions analogues sont adaptées aux portes intérieures.

A l'aide de ces précautions, les rentrées d'air auxquelles l'ouverture des portes donne lieu ne présentent point d'inconvénient, même quand le service exige que celles du bas soient momentanément ouvertes en entier.

Le calorifère C est alimenté de l'air nécessaire à la combustion, par une galerie B, *fig.* 1, venant des caves, et il reçoit l'air nouveau à échauffer par une autre galerie TT, alimentée par l'air de la cour. Ces deux galeries sont isolées l'une de l'autre par une porte *b*, de sorte qu'il ne peut s'établir de communication entre l'air qui afflue au foyer et celui qui parvient dans l'amphithéâtre. Des dispositions analogues existent pour le petit calorifère.

L'extraction de l'air vicié se fait par des orifices *b*, *b*, *b*..., au nombre de 82, pratiqués dans les contre-marches des gradins, et qui offrent ensemble une surface libre de passage de 6^{mq} 022, que nous aurions désiré pouvoir faire beaucoup plus grande si les constructions déjà existantes nous l'avaient permis, et que nous chercherons cependant encore à augmenter autant que possible.

La disposition des bâtiments n'ayant pas offert d'emplacement pour une cheminée d'appel particulière à chaque amphithéâtre dans son enceinte, nous avons été conduits à établir au milieu

de la cour qui les sépare, une cheminée commune A, *fig.* 1, destinée à servir à l'évacuation de l'air vicié de tous les deux.

Cette cheminée tronconique a 18m de hauteur, 2m 60 de diamètre à sa base et 2m 10 à son sommet. A la base de cette cheminée débouchent deux galeries A' A", venant de chacun des amphithéâtres, et ayant 2m 45 de hauteur sur une largeur de 1m 11, ce qui correspond pour chacune à une section de passage de 2m.q 593. Ces galeries sont en communication directe avec le dessous des gradins.

Des portes, dont on peut régler l'ouverture, sont placées vers l'origine de ces galeries, afin de permettre d'activer ou de modérer, selon les besoins, l'énergie des appels.

A la base de la cheminée, une grille de 1m 22 sur 1m 22 ou 1mq 502 de surface est placée à 1m 06 de hauteur au-dessus du sol, et reçoit un feu de houille dont la chaleur détermine l'appel de l'air vicié et subséquemment la rentrée de l'air pur.

Les constructions existantes antérieurement, et sur lesquelles reposent les gradins de l'amphithéâtre, ont opposé quelque gêne à l'ouverture des orifices d'évacuation et de passage, et dans des constructions nouvelles, il y aurait lieu d'augmenter toutes les sections de ces passages. L'on peut même voir sur la coupe longitudinale, *fig.* 2, que la charpente des gradins repose sur la voûte du vestibule inférieur 4, et qu'il en est résulté un obstacle à l'ouverture des orifices que l'on aurait voulu pratiquer dans les gradins supérieurs.

Malgré ces difficultés locales, les proportions adoptées se sont trouvées assez satisfaisantes pour que la ventilation ait pu acquérir l'énergie et la régularité nécessaires.

Admission de l'air nouveau. Conformément aux principes que nous avons établis dans nos *Études sur la ventilation*, l'air nouveau est admis le plus loin possible des auditeurs, c'est-à-dire par le plafond de l'amphithéâtre, et des dispositions ont été prises pour qu'il n'y afflue qu'à une température très-peu différente de celle qu'il est convenable de maintenir dans la salle.

Un grenier, qui règne au-dessus de l'amphithéâtre, a été plafonné et destiné à servir de chambre à air pour opérer le mélange de l'air chaud fourni par les calorifères avec l'air froid appelé de l'extérieur. Mais, comme on avait deux calorifères, l'on a jugé prudent de séparer leurs effets et de diviser ce gre-

nier, *fig*. 2 et *fig*. 3, en deux compartiments, par une cloison en briques.

Le premier H, de ces compartiments, reçoit l'air chaud fourni par le grand calorifère et qui y afflue par un conduit U, *fig*. 1 et 3. Parvenu à hauteur du grenier, le conduit s'étend horizontalement en G, et s'épanouit dans ce sens sur toute la largeur G′ G″ du grenier. L'air chaud débouche ainsi dans cette chambre par une série de 14 orifices offrant ensemble une section de 1^{mq} environ.

Pour modérer la température de cet air chaud, selon ce qu'exige celle de l'air extérieur, une large baie X, *fig*. 3 et 4, offrant une aire libre de 5^{mq} 95, a été ménagée sur le pan de la toiture qui verse du côté de l'église, et, au moyen d'un registre que l'on manœuvre à volonté, permet l'introduction d'un volume d'air frais plus ou moins considérable. La somme des orifices d'admission de l'air chaud ou frais est donc pour cette chambre du grenier égale à 6^{mq} 95.

Cet air, par la simple action de l'appel, s'introduit dans le comble, au-dessus des conduits de l'air chaud, et vient déboucher en X′, *fig*. 2, précisément au-dessus de celui-ci avec lequel il se mélange nécessairement, attendu que le plus chaud et le plus léger des deux est au-dessous du plus froid ou du plus lourd.

Il résulte de cette disposition simple que, selon qu'on ouvre ou qu'on ferme les registres d'air chaud du conduit vertical U ou de l'orifice X d'air froid, la température de l'air dans la chambre de mélange peut varier rapidement.

Du côté du petit calorifère, qui envoie l'air chaud par un conduit O, *fig*. 3, dont le débouché a 0^{mq} 18 de section, une ouverture T, de 2^{mq} 25 de superficie, ménagée dans le toit et munie d'un registre, permet d'une manière analogue d'obtenir, dans la chambre à air correspondante N, un mélange d'air à une température convenable. La somme des orifices d'admission de l'air chaud et de l'air frais dans cette chambre est donc de 2^{mq} 73, ce qui donne en tout une section de $6^{mq}\,95 + 2^{mq}\,73 = 9^{mq}\,68$.

L'on verra plus loin que le volume d'air maximum extrait de cet amphithéâtre est à peine de 18000^{mc} par heure ou de 5^{mc} 00 par seconde. Par conséquent, la vitesse moyenne de passage par les orifices d'introduction atteint au plus

$\frac{5^{mc}\,80}{9^{mq}\,68} = 0^{m}\,51$ en 1″, ce qui n'exige pas une action très-énergique de la part de l'aspiration.

Le passage de l'air de ces deux chambres de mélange dans l'amphithéâtre se fait par onze des douze caissons K, K, K, ménagés dans le plafond; le douzième ayant été nécessairement couvert par le conduit G d'air chaud. Ces onze conduits offrent à l'introduction une surface libre de $11^{mq}\,737$, ce qui, pour une ventilation qui doit s'élever au plus à 18000^{mc} par heure ou à $5^{mc}\,00$ en 1″, correspond (en supposant qu'au printemps tout l'air nouveau arrive en totalité par ces ouvertures) à une vitesse moyenne de $0^{m}\,42$, qui, à la distance où cet air arrive à une température modérée, ne saurait être gênante.

Quelques dispositions de détail ont été prises pour que les caissons les plus voisins des conduits d'arrivée d'air chaud ou d'air froid ne produisent pas des introductions plus abondantes que ceux qui en sont plus éloignés. L'on y est parvenu en établissant au-dessus de ces caissons des espèces d'écrans ou de mantelets, qui dirigent l'air un peu au delà de ces passages et l'obligent à n'y affluer qu'après un détour. Ces mantelets sont disposés dans le sens horizontal, comme en *a* et *b*, *fig.* 2, ou dans le sens vertical, comme en *cccc*, *fig.* 3, selon la direction naturelle des courants. Le développement à leur donner dépend évidemment des dispositions particulières et doit être modifié par suite de l'observation de leurs effets; c'est une question de tâtonnement local qui ne présente aucune difficulté.

Les deux caissons K_1 et K_2, *fig.* 3 et 4, nous fournissent un exemple assez remarquable de la facilité avec laquelle, sous l'action d'un appel suffisant, l'on peut diriger l'air dans le sens que l'on juge convenable.

Pour y faire affluer l'air chaud, il avait été nécessaire de bifurquer, à droite et à gauche, vers chacun d'eux, le conduit principal G, mais il fallait aussi mélanger, selon les températures extérieures, cet air avec une proportion plus ou moins grande à l'air frais affluent par la baie X.

A cet effet, des languettes *ee*, *fig.* 4, ont prolongé le conduit partiel d'air chaud vers les caissons K_1 et K_2, et des mantelets *ff* qui les dépassaient en sens contraire ont obligé l'air froid à n'atteindre ces caissons qu'après s'être nécessairement mélangé

avec l'air chaud qui arrivait au-dessous. Ce mouvement d'arrivée et de retour de l'air froid est très-sensible et facile à observer à l'aide d'une bougie allumée.

Par l'ensemble de ces dispositions, l'on est parvenu à obtenir dans les chambres de mélange une température convenable pour l'air nouveau que l'on veut faire affluer dans l'amphithéâtre et qui doit être, comme l'a montré l'observation, très-peu différente de celle que l'on veut maintenir dans cette salle.

L'on a ainsi réalisé en grand l'introduction de l'air nouveau pris à la partie supérieure d'un édifice, en le faisant, par l'action d'un appel agissant d'en bas, descendre dans le local à assainir, et en évacuant à l'inverse l'air vicié par la partie inférieure.

Les expériences ayant prouvé que le volume d'air ainsi introduit et évacué pouvait s'élever même à plus de 18000^{mc} par heure, l'on voit que, par des dispositions convenables et de bonnes proportions, il est facile de faire affluer dans un local donné et d'en extraire, sans produire de courants d'air gênants, tel volume d'air qui peut être nécessaire pour y maintenir la salubrité et la température à un degré satisfaisant.

Expériences de service courant en 1863-64.

Le but des nouvelles expériences, dont je me propose de parler dans cette note, est surtout de faire connaître les résultats du service courant, tant sous le rapport des volumes d'air réellement évacués et des températures intérieures que sous celui des consommations de combustible occasionnées par le chauffage et par la ventilation.

Pour mesurer d'une manière permanente et régulière les volumes d'air évacué du grand amphithéâtre, nous avons employé un anémomètre totalisateur à compteur électrique, que j'ai fait construire par M. Hardy, habile ingénieur en instruments de physique, afin de réaliser une idée émise par M. de Derschau, ingénieur russe, qui l'a fait connaître à l'Académie des sciences en 1862[1].

1. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, séance du 8 décembre 1862.

Les conditions imposées au constructeur étaient d'établir un instrument très-sensible, susceptible de marcher longtemps, pendant un mois au besoin, sans qu'il fût nécessaire de le nettoyer, d'en renouveler les huiles ni les éléments de la pile du compteur, malgré son séjour prolongé dans des conduits où le courant d'air devait incessamment entraîner des poussières très-abondantes, par suite de la fréquentation du public si nombreux qui assiste aux cours.

Je ne décrirai pas ici l'appareil que M. Hardy a construit avec beaucoup d'intelligence pour satisfaire à ces conditions, je me bornerai à dire qu'après avoir séjourné plus de deux mois dans la galerie d'évacuation du grand amphithéâtre et y avoir fonctionné tous les jours pendant les cours, il était encore en parfait état et que sa sensibilité n'était altérée que dans une proportion assez faible, eu égard aux circonstances dans lesquelles il fonctionnait, puisque l'erreur qui pouvait en résulter, après cet intervalle de temps très-exagéré, ne s'élevait qu'à environ 1/10e des faibles vitesses de 1 mèt. à 1^m 50 en une seconde, et aurait été nécessairement plus faible si l'instrument avait été nettoyé et visité une fois par mois, pour en essuyer au moins les ailettes en aluminium qui, par l'adhérence de la poussière, deviennent beaucoup plus lourdes, ce qui tend à augmenter le terme constant de la formule de tare, le seul en effet qui ait varié d'une manière notable.

Cette épreuve de l'anémomètre à compteur électrique met donc en évidence le parti que l'on pourrait tirer de cet appareil pour contrôler jour par jour et sans difficulté le service de la ventilation dans tous les établissements où cela serait jugé nécessaire. Son prix, fort modéré d'ailleurs, n'est que de 250 fr., et la dépense, pour l'entretien de la pile du système, est à peu près insignifiante. La seule sujétion qu'exige son usage, c'est de le faire visiter et nettoyer une fois par mois et de s'assurer en même temps, à l'aide d'un anémomètre portatif ordinaire, qu'il a conservé sa sensibilité.

A cette indication générale du moyen d'observation employé, nous devons ajouter que la lecture du nombre de tours faits par les ailettes de l'anémomètre s'opérait tous les jours pendant les cours à une heure ou deux d'intervalle, et que, du résultat obtenu pendant cet espace de temps, l'on déduisait

le volume d'air moyennement écoulé par heure pour chaque jour.

Ces volumes pouvaient varier entre des limites assez étendues par diverses causes. La température extérieure, l'activité du foyer d'appel, l'ouverture plus ou moins grande des portes régulatrices de l'évacuation, exerçaient une grande influence sur les volumes d'air réellement extraits, et, d'une autre part, le nombre si variable des auditeurs d'un cours, d'un jour à un autre, influait beaucoup, et souvent dans des proportions énormes, sur le volume d'air vicié extrait par auditeur.

Nous n'avons pas cherché à remédier à ces variations, parce que nous voulions, d'une part, en apprécier les effets, et de l'autre, connaître le degré de régularité dans le service, que l'on peut raisonnablement attendre et exiger d'un chauffeur un peu intelligent.

Nous ne reproduirons pas ici tous les résultats qui ont été obtenus pendant les trente-six jours où les expériences ont été faites, et nous indiquerons seulement les résultats moyens et les plus grands écarts observés.

Le volume d'air moyennement extrait par heure du grand amphithéâtre a été, pendant ces trente-six jours, de 12343^{mc}.

A part deux jours, où le service a été évidemment mal réglé, les plus faibles volumes observés sont ceux de 8961^{mc}, 9603^{mc}, 9437^{mc}, 9129^{mc}, et n'ont été obtenus que quatre fois, donnant ainsi une diminution moyenne de 0,25 au plus; mais il convient d'ajouter que le nombre des auditeurs étant ces mêmes jours peu considérable, le volume d'air évacué par individu et par heure n'en a pas moins été supérieur à 24^{mc}.

Les plus grands volumes d'air évacués par heure ont été de 14736^{mc}, 14103^{mc}, 14403^{mc}, 14306^{mc}, 14319^{mc}, 14963^{mc}, 14,319^{mc}, 15,327^{mc}, ou, en moyenne, de 0,18 en plus de l'évacuation normale, ce qui d'ailleurs n'offre aucun inconvénient.

Mais les variations les plus importantes, et dont il convenait surtout d'étudier l'influence, quant aux effets produits par la ventilation sur les personnes, étaient causées par les différences considérables et souvent difficiles à prévoir dans le nombre des auditeurs. Or, en laissant le chauffeur conduire librement son service, il est arrivé parfois qu'une diminution sensible du nombre des auditeurs coïncidait avec une plus grande évacua-

tion, de sorte que le volume d'air vicié évacué, qui a été en moyenne de 36 à 37^{mc} par heure et par individu, et qui a pu, sans inconvénient, s'abaisser même à 24^{mc}, comme nous venons de le dire, s'est élevé parfois à 85^{mc}, 81^{mc}, 92^{mc}, et même une fois à 101^{mc} par personne.

Malgré cet excès inutile de ventilation, qu'il eût d'ailleurs été facile d'empêcher, si on l'eût voulu, en restreignant l'ouverture des portes régulatrices des galeries, les auditeurs n'en ont éprouvé aucun inconvénient, et la raison en est simple, c'est que, par suite des dispositions prises pour l'arrivée de l'air nouveau, la température de cet air ne diffère que très-peu, d'un ou deux degrés au plus, de celle de l'intérieur de l'amphithéâtre. La circulation de l'air à l'intérieur est, en effet, la même dans tous les cas, puisque les orifices d'admission et de sortie ne sont pas modifiés. La vitesse générale de cette circulation reste ainsi la même, et toujours modérée, tandis que la pureté générale de l'air est plus grande, attendu que le nombre des individus qui l'altèrent est plus petit relativement à son volume et à la capacité du local.

Cette conséquence est importante, en ce qu'elle montre que, pourvu que les orifices d'accès de l'air nouveau soient suffisamment grands et éloignés des personnes, et que sa température soit convenable, il n'y a pas à craindre que dans une salle de spectacle, par exemple, une ventilation calculée pour le nombre maximum des spectateurs devienne gênante quand, au contraire, il y en a peu.

Observations des températures intérieures. L'abondante circulation d'air qui se fait dans les amphithéâtres du Conservatoire et la température très-modérée à laquelle il afflue y maintiennent toujours, comme je l'ai déjà fait connaître, la température intérieure à un degré convenable et peu variable. Cette constance étant d'ailleurs le moyen le plus facile de constater l'activité de la ventilation, l'observation des thermomètres placés au bas, au milieu et en haut des amphithéâtres, est le signe qui suffit au chauffeur pour régler les proportions d'air froid et d'air chaud à introduire dans la chambre de mélange. Avec un peu d'attention, il y parvient si facilement, que le relevé des températures intérieures fait au commencement et à la fin de chaque leçon,

au bas, au centre et au haut de l'amphithéâtre pendant les 152 jours de cours de l'hiver dernier, montre que cette température s'est pour ainsi dire invariablement maintenue entre 19 et 21°, et qu'elle ne s'est abaissée que dix fois à 18°, jamais plus bas, et n'a dépassé 21° que quatre fois et momentanément.

Il y a même lieu de remarquer qu'à l'inverse de ce qui arrive presque toujours dans les amphithéâtres, la température vers les gradins supérieurs est habituellement inférieure d'un degré à celle de sa partie basse. Cela tient évidemment à ce que les orifices d'arrivée de l'air extérieur et d'évacuation de l'air vicié y sont plus voisins de ces gradins que de la partie qui forme l'enceinte réservée.

Tels sont les résultats obtenus au grand amphithéâtre du Conservatoire des Arts et Métiers au point de vue du renouvellement de l'air et des températures. Il nous reste à faire connaître quelles ont été les dépenses que ce service a occasionnées.

Pour nous en rendre compte, nous avons, pendant toute la durée des cours de 1863-64, tenu exactement et séparément note des quantités de combustible employé pour le service des calorifères et de la cheminée de ventilation.

La dépense totale de combustible pour la cheminée de ventilation a été de 18000 kilogr., presque tout en briquettes, que nous avons payées 37f,50 la tonne, plus 2 fr. pour la mise en cave; soit donc 39f,50 la tonne.

Il y a eu 152 soirées de cours; mais, en outre, les amphithéâtres ont été mis fréquemment à la disposition de diverses sociétés de secours mutuels et autres, il a été aussi fait quelques séances d'expériences, de sorte que le nombre des jours où la ventilation a fonctionné doit être évalué à 170.

La consommation de combustible a donc été en moyenne de 106 kilogr. à 3f,95 les 100 kilogr. par séance de quatre heures environ, et la dépense en argent de 4f,20 pour les quatre séances de cours données chaque soir; soit 1f,05 par cours ou par heure.

Le Conservatoire, qui a dépensé en combustible, pour cette ventilation, une somme de 711 fr., pour procurer à MM. les professeurs et aux 171486 auditeurs, qui ont assisté aux cours de cette année, un état de bien-être qui leur avait manqué jusqu'à ce jour, n'a certes pas à regretter une si minime dépense.

Il convient cependant de faire remarquer que la circulation d'un volume d'air considérable pris froid à l'extérieur et versé chaud dans l'atmosphère exige, pour le chauffage proprement dit des locaux, un surcroît de dépenses dont il y a lieu de chercher à tenir compte. C'est ce qu'il est facile de faire approximativement.

L'évacuation moyenne de l'air vicié pouvant être, d'après les expériences, estimée au moins à 24000^{mc} d'air par heure pour les deux amphithéâtres, et la consommation de combustible ayant été par jour, pendant les quatre heures de feu, de 106 kilog., ou de $26^{k},30$ par heure, il s'ensuit que la combustion d'un kilogramme de charbon a produit en moyenne l'évacuation de $\frac{24000}{26.5}=908^{mc}$, résultat peu différent de ceux que nous avons obtenus par des expériences directes sur les cheminées, et qui serait plus favorable encore si la ventilation se faisait avec continuité, au lieu de ne durer que quatre heures, ce qui oblige chaque jour à chauffer la maçonnerie de la cheminée, qui se refroidit ensuite sans profit pour les effets à obtenir.

Quoi qu'il en soit, le volume d'air moyennement évacué du grand amphithéâtre ayant été trouvé égal à 12343^{mc} par heure, cette évacuation a dû exiger une consommation de $\frac{12343}{908}=13^{k},6$

de charbon ou $54^{k},4$ par soirée et pour 170 jours. . .	9148 kil.
Le chauffage des deux calorifères de cet amphithéâtre a déterminé la consommation de.	27750
Total.	36990 kil.
qui, à $39^{f},5$ les 100 kilogr., ont coûté.	1471 fr.
Si à cette dépense nous joignons la moitié du salaire du chauffeur, qui soigne trois autres calorifères, exigeant sa présence pendant tout le jour, tandis que les amphithéâtres ne le réclameraient que le soir, cela revient à une somme de $2^{f},50$ pendant 170 jours. . . .	425
Ajoutons enfin pour frais d'entretien.	314
nous aurons pour la dépense totale de chauffage et de ventilation	2200 fr.

pendant 170 jours, soit en nombre rond $10^{f},20$ par jour pour cet

amphithéâtre, qui reçoit par soirée quelquefois plus de 1,000 auditeurs pour les deux cours.

Proportions par rapport à l'espace cubique chauffé et ventilé. — Comme renseignement utile, nous ajouterons que la capacité de cet amphithéâtre est de 2820^{mc}, et que la consommation de combustible pour son chauffage, pendant 170 jours et pendant quatre heures chaque jour, ayant été de 27750 kilog., cela revient à 163 kilog. par jour ou à 58 kilog. par séance de quatre heures et par 1000^{mc} de capacité de cette salle parfaitement ventilée et chauffée.

Enfin la consommation totale pour le chauffage et la ventilation ayant été de 36990 kilog. pendant 170 jours, ou de 218 kilog. par jour pour une capacité de 2820^{mc}, cela revient à 77^{k},20 par séance de quatre heures et par 1000^{mc} de capacité d'un lieu chauffé et ventilé dans lequel l'air est renouvelé 4,36 fois par heure, c'est-à-dire plus rapidement que tous les quarts d'heure.

Ces données de l'expérience appliquées à un amphithéâtre pourront servir de base pour des installations analogues; mais les résultats seraient certainement beaucoup plus avantageux, si le chauffage et la ventilation, au lieu d'être intermittents et de ne durer que quatre heures sur vingt-quatre, devaient au contraire avoir lieu pendant beaucoup plus longtemps.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR

la Machine dite GAZO-MOTEUR de M. Belou[1],

PAR M. H. TRESCA.

Au mois de février 1861 nous avons été appelé à étudier le fonctionnement de la machine à air dilaté dite gazo-moteur, installée dans les ateliers de garde-meuble de la Couronne, par les soins de M. Belou, son inventeur.

Le brevet de M. Belou date du 30 mars 1860, et au moment des expériences le système se composait essentiellement :

1° D'un cylindre moteur d'un diamètre de $0^m,50$, dans lequel se mouvait un piston ayant une course de $0^m,83$; ce piston était mis en mouvement par l'action de l'air insufflé par un appareil spécial et en partie chauffé par son passage au travers d'une grille chargée de combustible en ignition.

Le cylindre était entouré d'un matelas d'air emprisonné dans une enveloppe de tôle, non garnie de douves en bois. L'admission dans le cylindre s'opérait au moyen de clapets soulevés par des cames, en s'aidant de l'avance à l'échappement pour leur levée ; ces clapets étaient formés de surfaces planes reposant sur des siéges en couteau. L'échappement se faisait dans des condi-

1. Ces expériences sont déjà anciennes et les résultats qu'elles ont indiquées ne doivent s'appliquer qu'à l'état dans lequel se trouvait la machine en 1861. Au moment où l'attention publique est appelée de nouveau sur cette machine, nous avons dû considérer comme un devoir de publier ces résultats, dont la contestation avait été en quelque sorte rendue publique par la présence d'un grand nombre d'invités. Il n'a pas dépendu de nous, qu'elles ne soient pas répétées, un peu plus tard, car nous avons, pendant six mois environ, laissé, dans ce but, un frein dans les ateliers du garde-meuble. H. T.

tions identiques, avec cette différence cependant que les plans de contact étaient verticaux.

2° D'un cylindre soufflant à double effet, dont le diamètre était le même que celui du cylindre moteur, mais dont la course était limitée à 0,475.

L'arbre portant les deux manivelles, calées, l'une par rapport à l'autre, sous un angle de 80 degrés, était muni d'un volant, et c'est par son intermédiaire qu'une partie de la puissance motrice développée dans le cylindre moteur était transmise au piston de la machine soufflante, chargée d'aspirer et de comprimer l'air nécessaire à l'alimentation du cylindre moteur.

3° D'un foyer clos muni d'une trémie rotative servant à l'introduction du combustible.

L'air préalablement comprimé dans la machine soufflante ne passait que partiellement dans ce foyer. Un modérateur à force centrifuge, dans le genre des modérateurs Farcot, était destiné à fractionner l'air insufflé de manière, qu'après la réunion de celui-ci avec les produits de la combustion, la température fût encore maintenue dans des limites convenables.

Dans une machine du même système, en construction au Havre, l'air froid doit circuler, après sa compression, dans la double enveloppe du cylindre, pour s'y échauffer déjà, sans dépense spéciale de combustible. Les tuyaux qui conduisent le gaz depuis le foyer jusqu'aux cylindres sont mis à l'abri de toute détérioration par la chaleur, au moyen d'un conduit en terre réfractaire.

4° D'un réservoir à air comprimé pouvant être mis en communication, soit avec le cylindre moteur, soit avec le cylindre soufflant, et formant magasin d'air comprimé pour la mise en marche de l'appareil après chaque arrêt.

Un frein et des indicateurs de pression avaient été installés par M. Belou ; le bras de levier de frein agissait sur un peson à ressort, dont la graduation a été vérifiée après l'expérience, et dont il a fallu défalquer l'effort exercé en sens contraire, par le levier lui-même.

Voici la transcription complète des notes prises pendant toute la durée de l'expérience du 16 février, qui a été prolongée depuis 1h 40 jusqu'à 4h 56.

Tableau des observations faites sur le fonctionnement de la machine Belou, le 16 février 1861.

HEURES des observations.	PRESSION motrice indiquée par le manomètre.	NOMBRE des tours de la machine par 1'.	RÉSISTANCE indiquée par le peson.	OBSERVATIONS.
h. 1.40				La machine est en feu mais froide ; on a déjà introduit dans le foyer 5k,60 de combustible, pris sur un approvisionnement total de 29k mis à la disposition du chauffeur.
1.48		52		Mise en marche au volant.
1.51	1.80	50		La machine tourne à vide.
1.58	1.82			
2. 2	1.90	53		
2. 6		52		
2.10		54		On commence à serrer le frein.
2.15	2.10	50	60	
2.17				Le frein n'est pas assez serré ; accélération.
2.18				La machine s'arrête sous l'action du frein.
2.20	2.10	49	48	
2.22				Fuite au presse-étoupe.
2.27	2.00	50	43	
2.30	2.00	46	43	
2.34	2.05	48	39	
2.38	1.95	48	45	La température de l'air à l'échappement dépasse 150°.
2.45				Diagramme tracé à l'indicateur.
2.50	1.95	44	39	Un thermomètre en contact avec le cylindre marque 155°.
2.57	2.00	44	47	La tige du piston bleuit par l'action de l'air chaud.
3. 4	1.95	54	45	La soudure de plombier fond dans le jet d'échappement, à 3m du cylindre.
3.12	1.95	48	49	La soudure de plombier fond sur le cylindre.
3.19				Le plomb fond sur le cylindre.
3.20	1.95	51	54	
3.21				Fuite au presse-étoupe.
3.30				Il ne reste plus de charbon dans la caisse.
3.35				Diagramme tracé à l'indicateur.
3.45				La trémie est vide ; on arrête son mouvement.
3.50	1.80	46	34	
3.51				On pèse à nouveau 10 kil. de charbon et l'on charge un peu la trémie.
3.52	1.60	46	26	On remet la trémie en mouvement.
3.55	1.90	50	31	
4. 0	2.00	50	34	
4. 1	2.00	50	35	La fuite du presse-étoupe est plus abondante.
4.17				Tout le reste du charbon est dans la trémie.
4.20	2.00	51	50	Il n'y a plus de charbon dans la trémie.
4.32	1.80	51	50	La machine fonctionne désormais sans addition de combustible.
4.38	1.75	44	31	
4.42			25	
4.44	1.65	44	25	
4.45	1.70	43	19	
4.48	1.50		15	
4.55	1.50		13.5	
4.56				

Les éléments qui composent ce tableau sont suffisants pour apprécier toutes les conditions du fonctionnement de la machine.

La durée totale de l'expérience a été de 4h 56′ — 1. 40 = 3h 16′, mais la machine n'a réellement travaillé que pendant 4h 56′ — 2. 10 = 2h 46′; il nous a semblé que nous tiendrions un compte équitable de cette différence en attribuant la consommation observée à un travail effectif de trois heures.

Cette consommation s'étant élevée à 39 kilogrammes, nous voyons déjà que la consommation par heure a été de 13 kilogrammes.

La marche de la machine, sans être absolument régulière, s'est cependant maintenue dans d'assez bonnes conditions.

Les pressions enregistrées n'ont varié qu'entre 1.50 atmosphère, et 2.10 atmosphères, et encore la première de ces pressions n'est-elle relative qu'à la période pendant laquelle la machine n'était plus alimentée de combustible.

Sauf un arrêt momentané, résultant du serrage trop brusque du frein, le nombre de révolutions de l'arbre moteur n'a varié pendant la marche normale que de 54 à 44 tours par minute; pendant la période de refroidissement la machine s'est arrêtée progressivement à partir de la dernière observation de 43 tours par minute.

Le levier du frein était accroché à un peson dont l'aiguille était constamment soumise à des oscillations très-brusques et très-étendues; M. Belou les éliminait en partie en laissant frotter ce levier contre une tige de fer plantée dans le sol, ce qui diminuait d'une manière notable la sensibilité de l'appareil. Les efforts enregistrés sont, par cette raison, pour la plupart, un peu trop grands; ils doivent d'ailleurs être diminués d'une charge constante de 13 kilogrammes, charge que le levier exerçait par lui-même sur le peson, indépendamment de tout effort exercé sur la couronne du frein.

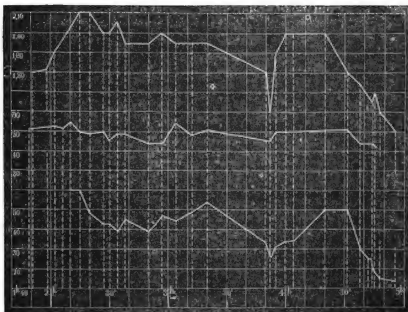
Pour obtenir des chiffres moyens, on a représenté, par un tracé graphique, que nous reproduisons dans la figure, les pressions, les nombres de tours et les charges en prenant les temps pour abscisses. On a ainsi trouvé que :

1° La pression moyenne de 1 h. 56′ à 3 h. 56′, a été de

$$\frac{1}{1.985} \text{ atmosph.}$$

2° Le nombre moyen des tours de la machine par minute entre les mêmes limites, de 49.26 tours.

3° La charge indiquée par le peson du frein, depuis 2 h. 10′



jusqu'à 5 h. 56′, de 28.28 kilog., et, déduction faite des 13 kil. qui viennent d'être indiqués.

Un des inconvénients les plus notables de cette machine réside dans la haute température des gaz. Le plomb fondant à 320°, on voit que les différents organes de la machine se trouvent soumis, pendant son fonctionnement, à cette température excessive. L'emploi de cordes métalliques dans les joints n'obvie que partiellement à cet inconvénient grave, auquel il nous paraît difficile d'échapper dans les machines analogues. Le bleuissage de la tige du piston indique assez quelle peut être l'influence de cet échauffement.

La longueur du levier du frein, mesurée depuis le centre du mouvement jusqu'au point d'application de la résistance du

peson, étant de $2^m,53$, et le poids moyen de 28.28 kilogrammes, le travail par tour est donné par la formule

$$28.28 \times 2\pi \times 2.53 = 449.45 \text{ kilogrammètres,}$$

et à raison de 49.26 tours par minute, ce travail représente, en chevaux :

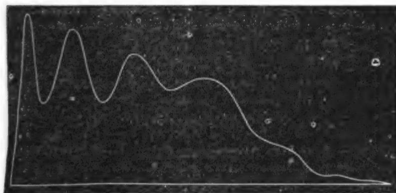
$$\frac{49.26 \times 449.45}{60 \times 75} = 4.92 \text{ chevaux vapeur.}$$

Ainsi, 4.92 chevaux ont dépensé 13 kilogrammes de combustible par heure, ce qui porte la consommation par cheval et par heure à $13 : 4.92 = 2^k,64$.

Ce résultat est certainement intéressant, mais il se rapproche, beaucoup plus que l'inventeur ne le pensait, de la consommation des autres machines à air.

Les diagrammes obtenus et le calcul des volumes permettent d'ailleurs d'étudier d'une manière plus complète les éléments économiques de la question.

Le diagramme tracé à 2 h. 45′ est, comme le montre la fig. 2, très-ondulé, mais on a pu en faire exactement la quadrature, qui est de 1787 millimètres carrés.



La pression d'admission indiquée par ce diagramme correspond bien à deux atmosphères, et la pression intérieure diminue rapidement avec la détente, qui était de moitié environ.

Le ressort de l'indicateur employé fléchissait de 30 millimètres par atmosphère, c'est-à-dire pour une pression de

$$10330 \times \frac{\pi D^2}{4} = 10330 \times 3.1416 \times \frac{0.50^2}{4} = 2027.78 \text{ kil.}$$

Chaque millimètre d'ordonnée correspond donc à un effort de 2027.78 : 30 = 67.59 kil. D'un autre côté, la course du piston ou $0^m,83$, est représentée, sur ce diagramme, par 97 millimètres, de sorte que chaque millimètre d'abscisse représente un chemin parcouru par le piston de 0.83 : 97 = $0^m,00855$.

On déduit de là que chaque millimètre carré du diagramme correspond à un travail de

$$67^k,59 \times 0^m,00855 = 0.578 \text{ kilogrammètres,}$$

et que les 1787 millimètres carrés du diagramme entier correspondent à un travail, par coup de piston, de

$$1787 \times 0.578 = 1033 \text{ kilogrammes,}$$

et à un travail par tour l'arbre moteur de

2066 kilogrammètres.

A cette même heure, le levier du frein exerçait sur le peson un effort de $42 - 13 = 29$ kilogrammes, correspondant à un travail moteur effectif de

$$29 \times 2\pi \times 2.53 = 461 \text{ kilogrammètres.}$$

Dans la machine Belou de 1861, on n'obtenait donc en travail disponible sur l'arbre moteur que 461 : 2066 = 0.223 du travail fourni par l'air chaud sur le piston. La différence, s'élevant à près de 78 p. 100 du travail moteur, était dépensée par les résistances passives et par la compression de l'air d'alimentation.

Ce dernier élément peut lui-même être apprécié au moyen d'un calcul fort simple. A chaque pulsation de l'air chaud dans le cylindre moteur correspond une compression d'air froid dans le cylindre alimentaire.

Le volume développé par le piston de ce cylindre en un tour est

$$2 \times \pi r^2 l = 2\pi \times \frac{0.50^2}{4} \times 0.48 = 0.188,$$

et, même sans tenir compte du réchauffement dû à la compression, le travail nécessaire pour la produire sur ce volume jusqu'à 2 atmosphères, est

$$10330 \times \frac{0.188}{2} \times \log.\ \text{hy}.\ 2 = 10330 \times 0.094 \times 0.693 = 673\ \text{k}^{\text{m}}.$$

La compression de l'air nécessaire à l'alimentation dépense donc 693 kilogrammètres de travail théorique, en présence d'un travail moteur total de 2065, soit environ

$$\frac{693}{2066} = 0.335$$

du travail développé sur le piston de la machine motrice. Dès lors, le travail total peut être ainsi réparti :

Travail d'alimentation.	0.335
Effet utile	0.223
Résistances passives (par différence).	0.442
	1.000

Ces chiffres résument à peu près les conditions de fonctionnement des machines à air chaud alimentées par des machines soufflantes. On pourrait encore, bien qu'avec moins de certitude, formuler quelques indications sur l'utilisation du combustible, en admettant que tout l'air s'échappe à une température voisine de 250°, ce qui est certainement au-dessous de la vérité. La chaleur perdue par tour et par les seuls gaz de l'échappement serait alors, d'après les données précédentes, donnée par le produit

$$0.188 \times 1.293 \times 0.232 + 250 = 138.5\ \text{calories},$$

1.293 et 0.232 étant respectivement les nombres qui expriment le poids du mètre cube d'air à 0° et à la pression atmosphérique, et la capacité de cet air à pression constante. A raison de 48 tours par minute, cette perte par l'échappement seul s'élèverait par heure à 48 × 60 × 138.5, c'est-à-dire à près de 40 000 calories, ou environ la moitié de toute la chaleur produite par la combustion. Toutes ces indications sont importantes, et l'on ne saurait vraiment se promettre aucun résultat plus favorable avec ces machines, avant d'avoir éliminé, par quelque combinaison nouvelle, la plus grande partie de ces pertes.

Jusqu'à ce moment, la machine à vapeur conservera la plupart de ses avantages, au point de vue d'une alimentation obtenue avec peu de travail et de ses dimensions moins encombrantes.

Dans la machine expérimentée, le poids du foyer et du cylindre dépassait 2500 kilogrammes; le volant était beaucoup plus lourd que celui d'une machine à vapeur de même puissance effective.

Il ne sera pas inutile de faire connaître l'état dans lequel les diverses parties de la machine se trouvaient après le démontage qui a suivi l'expérience.

Les cendres que l'on a pu recueillir étaient bien brûlées; elles contenaient à peine $1^k,50$ d'escarbilles de coke.

Une petite quantité de cendre a été retirée avec quelques morceaux de mâche-fer par la porte d'arrière du fourneau.

La surface intérieure du cylindre était encore lisse au toucher, et ne présentait aucune strie apparente.

La boîte d'échappement était noircie par un dépôt de suie.

Toutes les autres parties de la machine étaient en parfait état; la construction du modérateur laissait seule à désirer.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 30 janvier 1862.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR LE BÉLIER HYDRAULIQUE DE M. BOLLÉE.

Le bélier hydraulique que M. Bollée, constructeur au Mans, avait envoyé à l'Exposition universelle de 1863, s'était fait remarquer par plusieurs dispositions nouvelles dont nous désirions déterminer l'influence sur le bon fonctionnement de la machine.

Pour répondre à ce désir, M. Bollée a envoyé au Conservatoire le bélier même qui était à l'Exposition, et il a pu, au mois d'avril dernier, l'installer dans la salle des machines en mouvement, de manière que les expériences pussent être faites en sa présence et avec sa collaboration.

Les points principaux par lesquels le bélier de M. Bollée diffère de ceux qui ont été construits précédemment sont :

1° La pompe à air qui remplace l'ancien reniflard.

2° Le clapet dit à plongeur au lieu du clapet plat qui y est ordinairement employé.

3° Le balancier qui permet de compenser à volonté l'excès de poids du clapet, par rapport à la charge d'eau sous laquelle la machine doit fonctionner.

4° La forme du corps du bélier, qui est disposé de manière à conserver à l'écoulement une grande sortie au moment de la fermeture du clapet et qui permet à l'eau d'arriver jusqu'au tuyau d'ascension dans les meilleures conditions d'effet utile.

Ce corps de bélier est d'une construction solide; les épaisseurs des parties circulaires sont calculées par les formules $E = 30 \text{ mill.} \times D + 8 \text{ mill.}$ dans le but de résister à 10 atmosphères.

5° Le bon effet du bélier est encore assuré par l'inclinaison du siége de la soupape, qui s'ouvre seule et n'a besoin du secours d'un ressort que dans le cas où le rapport entre les hauteurs des niveaux d'aval et d'amont serait considérable.

6° L'addition d'une soupape de sûreté, maintenue fermée par un ressort à boudin, mais pouvant s'ouvrir en cas de résistance accidentelle, résultant soit de la congélation de l'eau contenue dans la colonne de refoulement, soit de l'obturation formée par des robinets que les propriétaires ont souvent le tort de placer sur cette colonne, afin de pouvoir recueillir à volonté l'eau élevée, à diverses hauteurs.

Ces diverses modifications sont représentées dans les figures de la planche XXII.

La figure 1 est une vue de la machine tout entière en élévation.

La figure 2 est un plan dans lequel on a supprimé la tige de la soupape, son levier compensateur et son contre-poids.

La figure 3 est une coupe par l'axe du corps de bélier.

La figure 4 est une coupe transversale, à plus grande échelle, passant par l'axe de la soupape.

Les figures 5 et 6 représentent les dispositions du clapet.

Les figures 7, 8 et 9 donnent les détails des diverses parties de la pompe à air.

A. Corps de bélier.

B. Soupape ou clapet avec sa tige *b*, son levier compensateur C et son contre-poids *c*.

D. Régulateur à air, muni de son robinet *d*.

EE'. Pompe à air avec sa colonne *e* et son tuyau d'injection *e'*.

G. Soupape de retenue avec son ressort *g*.

H. Tuyau d'ascension assemblé, à bride sur la tubulure *h* du réservoir d'air.

K. Soupape de sûreté montée, au moyen d'un raccord, sur le prolongement de la tubulure *k* du réservoir d'air.

Nous ajouterons aux figures qui représentent la machine quelques détails sur les principales modifications apportées par M. Bollée dans sa construction.

Pompe à air. — Dans les anciens béliers, le réservoir d'air était alimenté à l'aide d'un reniflard, petite soupape placée directement sous la cloche et au moyen de laquelle un petit filet d'air

entrait, pendant le temps très-court qui correspondait au décollement du clapet d'arrêt.

L'effet n'était pas toujours suffisant, et lorsque le bélier était plongé dans l'eau on ne pouvait pas même en assurer le fonctionnement en mettant, par un tube spécial, le reniflard en communication avec l'air extérieur. Le tube était bientôt rempli d'eau et dès lors le reniflard ne fonctionnait plus.

La pompe que M. Bollée a substituée à cet agencement insuffisant fonctionne aussi par le jeu même du bélier, mais la durée de l'aspiration est beaucoup plus longue. A l'amont de son clapet d'arrêt il installe une colonne verticale creuse *e*, dont le sommet doit toujours être au-dessus des plus hautes eaux. L'eau entre librement dans cette colonne; mais au moment de la réaction elle s'y abaisse d'une certaine quantité, et l'espace qu'elle abandonne est aussitôt rempli par une petite quantité d'air entrant, à quelque distance du sommet, par un orifice *m* à ce destiné. Lorsque le clapet de retenue se ferme, l'eau est refoulée dans cette colonne supplémentaire, elle refoule l'air emprisonné par une soupape *s* et injecte cet air au moyen d'une communication spéciale *e'* dans l'espace compris entre les deux clapets du bélier. D'ailleurs une seconde petite soupape *s'* est disposée à l'endroit de l'introduction pour empêcher que l'effet contraire puisse se produire.

Il résulte de cette disposition que la colonne supplémentaire se charge d'air pendant le décollement et pendant toute la durée de l'ouverture du clapet d'arrêt, et que cet air est ensuite comprimé dans le tuyau de communication pendant toute la durée de la fermeture de ce clapet. Au moment où ce clapet s'ouvre à nouveau pour laisser écouler les eaux motrices, cet air, n'étant plus retenu par la pression, se détend et vient se loger sous la soupape d'élévation au moment où il n'y a pas de charge en ce point. La forme courbe donnée à la partie du corps de bélier, dans laquelle l'air est ainsi introduit, ne permet pas à cet air de s'échapper autrement que par la soupape de refoulement.

La certitude de l'action de cet appareil a une importance considérable dans la question, en ce que rien n'empêche désormais de placer le corps du bélier au-dessous du niveau des plus basses eaux, ce qui permet d'utiliser dans toute leur hauteur les chutes les plus minimes, et cette solution a surtout un intérêt réel dans

les cas les plus ordinaires où la chute est généralement très-faible.

Soupape à plongeur. — La difficulté de maintenir en bon état la soupape d'évacuation des béliers a été, sans aucun doute, la raison dominante de l'abandon trop général de cette utile machine. Il a fallu construire ces clapets en fer forgé, et encore les réparations étaient-elles fréquentes et l'intervention du mécanicien chaque fois nécessaire.

M. Bollée s'est attaché à trouver le moyen d'amortir les chocs, et le clapet qu'il désigne, assez improprement d'ailleurs, sous le nom de clapet à plongeur satisfait bien à cette condition, puisque d'une part le bruit causé par le choc est sensiblement diminué, et que d'autre part l'expérience prouve que quelques-uns de ces clapets fonctionnent avec continuité depuis sept ans sans avoir nécessité la moindre réparation.

Au lieu de frapper directement contre le siége métallique *t*, fig. 4, la couronne circulaire qui doit fermer le clapet de M. Bollée entre dans une rainure ou sorte de gorge *t'* d'où l'eau doit être expulsée pendant que la fermeture s'accomplit. La résistance de cette eau s'oppose nécessairement à la brusque fermeture, et comme, pendant que cet effet a lieu, l'eau continue à affluer dans la cage du clapet par les fenêtres *u* ménagées à la partie inférieure, il arrive que l'eau cherche encore à passer par les interstices de la rainure au moment où la fermeture va se terminer et qu'ainsi, et par cette double cause, le choc qui se produirait dans les conditions ordinaires est atténué dans une très-grande proportion.

Balancier compensateur. — Dans les béliers de petite dimension on peut toujours donner au clapet, sans en exagérer le poids, les dimensions convenables pour qu'il puisse résister au choc. Il n'en est pas de même pour les soupapes de grandes dimensions ; elles seraient trop lourdes si elles étaient assez résistantes, et la disposition du balancier compensateur a pour objet de ne rien sacrifier de cette résistance, et d'équilibrer l'excès de poids auquel elle conduit par une masse plus ou moins pesante *c*, placée sur un levier C à l'extrémité opposée à celle à laquelle la soupape est suspendue par sa tige *b*.

M. Bollée a profité de la présence de ce levier pour aider, au moyen de l'action d'un ressort *c'*, au décollement de la soupape.

Ce ressort est une simple lame d'acier qui se tend légèrement au moment où la soupape se ferme, et qui est dès lors tout préparé à la repousser au moment où le coup de bélier a cessé, de sorte que ce même balancier qui a aidé tout à l'heure à la fermeture de la soupape est aussi l'organe qui en assure plus rapidement l'ouverture. La soupape ainsi déchargée par son levier peut être modifiée par l'addition ou la suppression d'une partie du contre-poids, de manière à satisfaire le mieux possible aux conditions spéciales de chaque chute motrice.

En ajoutant des poids dans la boite disposée à cet effet, on allége le clapet, qui se ferme plus facilement, et cette seule modification suffit pour faire varier, comme on le désire, le débit de l'appareil.

Soupape de refoulement. — La soupape de refoulement G est articulée à charnières, de manière à plaquer facilement contre le siége incliné sur lequel elle doit reposer; on peut au besoin aider à sa fermeture par l'action d'un ressort *g* que l'on serre plus ou moins au moyen d'une vis manœuvrée du dehors.

Lorsque la hauteur de refoulement est très-grande par rapport à la chute, il est important que la soupape se ferme très-rapidement. et l'expérience montre que la charge seule du tuyau de refoulement n'est pas toujours suffisante pour obtenir ce résultat.

Si la soupape n'est pas fermée au moment où la réaction s'opère, l'eau de la colonne peut même être ramenée dans le corps même du bélier par suite de la résistance qu'opposent à la fermeture de la soupape les premières parcelles d'eau entraînée.

C'est pour cela que M. Bollée s'est donné le moyen de régler, au moyen d'une vis placée à l'intérieur, la position du ressort *g* destiné à ajouter son action à celle de la pesanteur pour déterminer plus rapidement la fermeture de la soupape de refoulement. L'ensemble de ces dispositions étant ainsi expliqué, nous dirons quelques mots de la disposition employée pour les essais, avant de consigner les résultats eux-mêmes.

Le bélier sur lequel les expériences ont été faites avait des soupapes d'un diamètre de $0^{m}.169$, qui correspond à une section de 0 022 432 mètre carré.

La charge qu'elles supportaient peut en conséquence se calculer par 22.432 kilogrammes par mètre de hauteur d'eau.

La batterie se composait d'un tuyau de fonte de 0.114 de dia-

mètre intérieur, et par conséquent d'une section de 0.01 mètre carré; sa longueur était de 11ᵐ.83.

D'après ces éléments, le poids de l'eau contenue dans la batterie se calcule par

$$11.83 \times \pi \times 0.057^2 = 10^l.20 \times 11.83 = 120^k.67.$$

Le tuyau d'ascension, également en fonte, avait un diamètre intérieur de 0.054, et sa section était 0.0023 mètre carré. Ce tuyau a été porté successivement à une hauteur de 6ᵐ.20, et à une hauteur de 4ᵐ.20.

Dans tous les cas, la batterie a été alimentée par un réservoir cylindrique en zinc, de 1 mètre de diamètre; ce réservoir était placé sous une bouche d'eau, qui a permis d'y entretenir un niveau constant toutes les fois que l'on voulait faire une expérience continue.

Dans d'autres circonstances, on a laissé le niveau s'abaisser jusqu'au moment où le bélier s'arrêtait de lui-même.

Pour mesurer le débit de l'eau motrice et celui de l'eau élevée, le produit de chaque orifice était reçu dans des mesures d'hectolitre au moyen de becs mobiles que l'on faisait osciller de l'une à l'autre après chaque remplissage; de cette manière, on n'a pu commettre aucune erreur de jaugeage.

Le clapet du bélier de M. Bollée pouvant être chargé ou déchargé au moyen du balancier et de son contre-poids, on a fait varier sa charge dans d'aussi grandes limites que possible, et on a comparé son effet à celui du clapet plan qui avait été disposé pour servir sur la même tige.

Le poids du clapet plan, dans l'air, était de 3ᵏ.12. Le poids du clapet à plongeur employé en premier lieu était de 5ᵏ.80 avec sa tige et son étrier; le balancier sans addition de poids déchargeait ce clapet de 2ᵏ.30, en telle sorte que la charge réelle était

$$5.80 - 2.30 = 3.50.$$

Un second clapet employé présentait, dans les mêmes conditions, un excès de charge de

$$6.21 - 2.30 = 3.91.$$

Mais cette charge a pu être diminuée à volonté par l'addition de quelques poids dans la boîte disposée à cet effet à l'extrémité du balancier, et par suite aussi de la perte de poids de la partie immergée dans chaque expérience.

La perte du poids résultant de l'immersion du clapet a été calculée d'une manière générale en divisant par huit le poids du clapet lui-même.

On trouvera dans les tableaux suivants toutes les indications relatives aux expériences faites :

Parmi les diverses séries d'expériences qui sont relatées dans ces tableaux, les unes permettent d'apprécier l'influence de la course du clapet, les autres l'influence du poids de cet organe.

Si, au premier point de vue, nous consultons les trois séries dans lesquelles la charge laissée au clapet a été constamment de $2^{k}.25$, les plus grandes chutes ont été toujours les plus favorables ; mais le bélier a pu marcher jusqu'aux chutes de $0^{m}.60$, en donnant encore un effet utile de 0,421 à 0,473. Les grandes courses ont constamment donné un meilleur résultat que les petites, excepté pour les plus basses chutes, avantage d'autant plus précieux que le bélier débite alors une grande quantité d'eau, 5 à 6 litres par seconde, qu'il élève près de 2 litres par coup, en battant environ 100 coups par minute. Ces résultats sont à peu près les mêmes que ceux obtenus avec le clapet ordinaire, avec course de 0.22, mais dans ce dernier cas les chocs sur le siége sont d'une très-grande intensité. En augmentant la charge du clapet on ralentit la marche du bélier, mais l'effet utile augmente dans une proportion considérable. Quand, au contraire, on augmente cette charge, le bélier se ralentit également, mais l'effet utile diminue beaucoup pour les petites chutes.

Les diverses séries mettent en lumière un fait assez curieux sur la marche de ce bélier, et qui consiste en ce que l'eau débitée, pour le même état de l'appareil, reste à peu près la même, quelle que soit la hauteur de chute ; en passant d'une chute de $1^{m}.56$ à une chute de 0.60, les différences ne sont souvent pas de un dixième.

Pour ce qui concerne le clapet plat ordinaire, dont le poids est resté constant, on a fait varier la course depuis $0^{m}.022$ jusqu'à $0^{m},005$. Chaque diminution de course s'est traduite par une augmentation dans le nombre des coups de bélier par minute, et par une diminution de débit, soit par seconde, soit par coup. Quant au rendement, il a toujours augmenté avec la diminution de la course, et cette influence est surtout marquée pour les petites chutes.

Tableau des expériences faites sur le bélier de M. Bollée avec une ascension de $6^{m},20$.

NUMÉROS des expériences.	DURÉE en secondes.	NOMBRES de coups de bélier.	NOMBRES de coups par minute.	EAU élevée en litres.	EAU élevée par seconde.	EAU élevée par coup.	EAU perdue en litres.	EAU déversée par seconde	HAUTEUR de chute au-dessus du déversoir.	TRAVAIL dépensé.	TRAVAIL produit.	RENDEMENT.
Clapet à plongeur.												
28 mars. — Le clapet est dans les conditions visées par le constructeur.											Course 0.044	
1	498	283	34.1	606	1.22	2.15	3000	6.02	1.56	5625.36	3757.10	0.668
2	498	279	33 6	612	1.23	2.16	3000	6.02	1.56	5634.72	3794.40	0.673
3	334	282	42 9	431	1.28	1.53	2000	5.98	1.56	3792.36	2672.20	0.705
4	336	261	46.1	427	1.35	1.62	2000	6.06	1.56	3786.12	2647.40	0.699
30 mars. — Même installation.											Course 0.044	
5	315	231	44.0	426	1.35	1.84	2000	6.35	1.56	3784.56	2641.20	0.698
30 mars. — Le contre-poids du clapet est enlevé.											Course 0.044	
6	110	32	17.5	57	0.63	1.83	800	8.89	0.85	728.45	353.40	0.485
30 mars. — Le contre-poids est remis en place et surchargé.											Course 0.044	
7	188	74	23.6	80	0.42	1.08	1000	5.32	0.85	918.00	496.00	0 540
31 mars. — I. Charge du clapet 3.91 — 0.66 = $3^{k}.25$.											Course 0.044	
8	160	84	32.5	202	1.26	2.40	1000	6.25	1.56	1876.12	1252.40	0.667
9	153	67	26 3	131	0.87	1.99	1000	6.53	1.20	1359.00	821 50	0.604
10	162	42	15.6	63	0.39	1.50	1000	6.17	0.80	852.40	390.60	0.458
11	135	28	12.4	36	0.26	1.29	1000	7.41	0.60	621.30	220.10	0.354
12	Le bélier cesse de fonctionner.								0.43			
31 mars. — II. Charge du clapet 2.91 — 0.66 = 2.25.											Course 0.044	
13	182	109	36.1	217	1.20	1.99	1000	5.52	1.56	1898 52	1345.40	0.706
14	177	90	30.5	142	0.80	1.58	1000	5.65	1.20	1370.40	880.40	0.642
15	178	85	28.6	142	0.79	1.66	1000	5.62	1.20	1370.40	880 40	0.642
16	180	66	22.0	79	0.44	1.20	1000	5.55	0.80	862.80	486.70	0.564
17	169	48	17.0	44	0.26	0.92	1000	5.91	0.60	626.40	264.00	0.421

	1er avril. — Charge du clapet 3.91 — 0.66 = 3.25.										Course 0.035	
18	170	106	36.1	198	1.13	1.87	1000	5.08	1.56	1868.88	1237.60	0.662
	1er avril. — Charge du clapet 3.83 — 0.66.										Course 0.035	
19	176	111	37.8	205	1.13	1.85	1000	5.68	1.56	1879.80	1271.00	0.676
	1er avril. — III. Charge du clapet 2.91 — 0.66 = 2.25.										Course 0.029	
20	262	222	51.9	212	0.81	0.95	1000	3.82	1.56	1890.72	1311.40	0.694
21	261	200	45.9	161	0.62	0.81	1000	3.83	1.30	1509.30	998.80	0.661
22	261	151	34.7	91	0.35	0.60	1000	3.83	0.90	981.90	564.20	0 574
23	262	107	24.5	48	0.18	0.45	1000	3.82	0.60	628.80	297.60	0.473
24	Le bélier cesse de fonctionner.								0.25			
	1er avril. — IV. Charge du clapet 2.91 — 0.66 = 2.25.										Course 0.020	
25	310	615	114	42	0.12	0.07	500	1.47	1.56	845.52	260.40	0.308 (1)
26	208	240	69	78	0.37	0.33	500	2.40	1.40	809.20	483.60	0.508
27	204	221	65	68	0.33	0.31	500	2.45	1.30	738.40	421.60	0 571
28	208	210	61	52	0.25	0.25	500	2.40	1.10	607.20	322.40	0.510
29	180	202	67	44	0.25	0.22	500	2.78	0.90	579.60	272.80	0.471
	1er avril.											
30	180	196	65	97	0.54	0.50	500	2.78	1.56	931.22	601.40	0.646
	1er avril. — V. Charge du clapet 5.35 — 0.73 = 4.72.										Course 0.020	
31	165	170	62	96	0.58	0.56	500	3.03	1.56	929.76	595.20	0.640
32	160	147	55	74	0.46	0.50	500	3.12	1.30	746.20	458.80	0.615
33	157	117	45	48	0.30	0.31	500	3.19	1.00	548.00	297.60	0.543
34	Le bélier cesse de fonctionner.								0.33			

Clapet ordinaire.

	31 mars. — VI. Charge du clapet 3.12 — 0.37 = 2.75.										Course 0.022	
35	165	92	34	229	1.39	2.49	1000	6.06	1.56	1917 24	1419.80	0 745
36	165	94	34	227	1.37	2.42	1000	6.06	1.56	1914.12	1407.40	0.735

(1) Le clapet ne descend pas complétement.

Tableau des expériences faites sur le bélier de M. Bollée, avec une ascension de 6m,20.

NUMÉROS des expériences.	DURÉE en secondes.	NOMBRES de coups de bélier.	NOMBRES de coups par minute.	EAU élevée en litres.	EAU élevée par seconde.	EAU élevée par coup.	EAU élevée en litres.	EAU deversée par seconde.	HAUTEUR de chute au-dessus du deversoir.	TRAVAIL dépensé.	TRAVAIL produit.	RENDEMENT
37	160	82	32	172	1.08	2.00	1000	6.24	1.30	1523.60	1066.40	0.700
38	150	48	19	82	0.34	1.71	1000	6.67	0.80	865.20	505.30	0.584
39	145	30	12	40	0.28	1.33	1000	6.89	0.55	572.00	248.00	0.433
40	Le bélier cesse de fonctionner.								0.47			
	31 mars. — VII. Charge du clapet 3.12 — 0.37 = 2.75.										Course 0.005	
41	615	1000	97	262	0.42	0.26	1000	1.63	1.56	1968.72	1624.40	0.825
42	643	802	75	171	0.27	0.21	1000	1.55	1.20	1405.20	1060.20	0.754
43	622	734	71	132	0.21	0.18	1000	1.61	1.00	1132.00	818.46	0.723
44	630	604	57	93	0.15	0.15	1000	1.59	0.80	874.40	576.50	0.659
45	304	240	47	28	0.09	0.12	500	1.64	0.60	300.00	173.60	0.579
46	Le bélier n'élève plus d'eau.								0.40			
47	Le bélier cesse de fonctionner.								0.16			
	31 mars. — VIII. Charge du clapet 3.12 — 0.37 = 2k,75.										Course 0.010	
48	290	270	58	261	0.81	0.91	1000	3.45	1.56	1967.16	1618.20	0.823
49	292	254	52	223	0.76	0.88	1000	3.43	1.40	1712.20	1382.60	0.807
50	291	221	45	185	0.63	0.84	1000	3.44	1.20	1422.00	1147.00	0.814
51	280	155	33	100	0.36	0.65	1000	3.57	0.80	880.00	620.00	0.706
52	280	117	25	64	0.23	0.55	1000	3.57	0.60	638.40	396.80	0.621
53	260	82	19	41	0.16	0.50	1000	3.85	0.45	468.45	254.20	0.543
54	Le bélier cesse de fonctionner.								6.25			

Tableau des expériences faites sur le bélier de M. Bollée, avec une ascension de 4m.20.

NUMÉROS des expériences.	DURÉE en secondes.	NOMBRES de coups de béliers.	NOMBRES de coups par minute.	EAU élevée en litres.	EAU élevée par seconde.	EAU élevée par coup.	EAU élevée en litres.	EAU déversée par seconde.	HAUTEUR de chute au-dessus du déversoir.	TRAVAIL dépensé.	TRAVAIL produit.	RENDEMENT.
					Clapet à plongeur.							
	2 avril. — IX. Clapet à plongeur $4^{k}.21 - 0.66 = 3.55$.											
55	186	99	31.94	320	1.72	3.23	1000	5.38	1.56	2059.20	1344.00	0.653
56	178	83	27.98	240	1.35	2.89	1000	5.62	1.30	1612.00	1008.00	0.625
57	168	65	23.21	150	0.89	2.31	1000	5.95	1.00	1150.00	630.00	0.548
58	157	41	15.67	75	0.48	1.83	1000	6.37	0.70	742.50	315.00	0.438
	2 avril. — X. Clapet à plongeur $2^{k}.01 - 0.66 = 1.35$.											
59	246	108	26.34	108	0.44	1.00	1000	4.07	0.70	775.60	453.60	0.585
60	245	58	14.20	58	0.20	1.00	1000	4.08	0.50	529.00	243.60	0.460 (1)
					Clapet ordinaire.							
	2 avril. — XI. Clapet plat ordinaire $3^{k}.728 - 0.401 = 3.327$.										Course 0.022.	
61	Tracé du mouvement du clapet.								1.56			
62	202	106	31.49	287	1.42	2.71	1000	4.95	1.30	1673.10	1205.40	0.720
63	196	88	26.94	195	1.00	2.22	1000	5.10	1.00	1195.00	319.00	0.686

(1) On a serré le report de la soupape de refoulement.

En général l'effet utile est, toutes circonstances égales, plus élevé avec le clapet plat qu'avec le clapet dit à plongeur; il s'est élevé pour la chute de 1m.56 jusqu'à 0.825, et il n'est pas descendu au-dessous de 0.433.

La préférence devrait donc lui être accordée sous ce rapport, si les chocs, beaucoup plus multipliés, surtout lors des faibles courses de clapet, n'étaient aussi beaucoup plus énergiques, et, par ce double motif, plus à craindre; c'est ce dont nous nous sommes assurés en faisant tracer, comme on l'avait fait précédemment, par le clapet lui-même, toutes les circonstances de son mouvement. Avec le clapet plat, ce tracé indique un arrêt brusque et des ressauts, tandis que dans le fonctionnement du bélier Bollée, la vitesse s'éteint successivement en donnant lieu à une courbe très-arrondie, qui montre l'efficacité du bourrelet d'eau contenu dans la rainure destinée à amortir le choc.

Le constructeur a sagement fait en sacrifiant une partie de l'effet utile pour assurer à son appareil une grande durée, surtout lorsqu'il s'agit, comme dans le cas actuel, d'un mécanisme pour ainsi dire livré à lui-même, et qui doit fonctionner sans surveillance.

La seconde série d'expériences est beaucoup moins nombreuse que la précédente et la charge n'a varié que de 1m.56 à 0m.50, ce qui donne un rapport, entre l'ascension et la chute, compris entre 2,69 et 8.40.

Le clapet plat ordinaire a eu, comme dans les expériences précédentes, la supériorité, sous le rapport du rendement, mais le tracé obtenu par un crayon attaché à la tige du clapet, a montré que le choc était beaucoup plus violent qu'avec le clapet à plongeur.

Le maximum d'effet utile a été obtenu avec ce dernier clapet pour la chute de 1m.56, et ce rendement de 0.653 a été rapidement en diminuant lors de l'emploi des faibles chutes; pour une chute 0m.70, il était tombé à 0.438, mais il est remonté à 0.585 en allégeant de beaucoup le clapet au moyen du balancier. L'importance de cet organe se trouve ainsi mise à nouveau en évidence, puisque l'on a obtenu ce résultat dans des conditions pour lesquelles le clapet ordinaire aurait certainement cessé de fonctionner. On a encore obtenu 0.460 d'effet utile avec une chute de 0m.50, mais en prenant la précaution de resserrer

le ressort de la soupape de refoulement pour en activer la fermeture.

Dans cette dernière série d'expériences, on remarque encore que le débit par le déversoir varie peu avec la hauteur de chute, et qu'il se produit ainsi une compensation provenant de ce que le temps pendant lequel l'écoulement s'opère par le déversoir, devient relativement plus considérable.

Ce résultat ne se vérifie toutefois que pour les mêmes conditions de charge du clapet; en allégeant cette charge dans les expériences 59 et 60, on a immédiatement diminué la rapidité du débit.

M. Bollée a déjà construit un grand nombre de ces béliers, et les facilités qu'il s'est données de faire varier, pour chaque installation, les conditions de charge et de course de ses clapets, lui permettent chaque fois d'approcher beaucoup du maximum d'effet utile, tout en assurant la durée des appareils, et la reprise automatique de leur marche, quand l'écoulement reprend après un chômage.

Nous avons sous les yeux la liste des béliers installés depuis plusieurs années déjà par M. Bollée, et tout en regrettant que les dispositions de l'installation actuelle ne nous aient pas permis de varier davantage nos expériences, les faits déjà constatés nous paraissent démontrer que M. Bollée aura contribué pour beaucoup à généraliser l'emploi de cette utile machine, qui, dans les conditions nouvelles, utilise toute la chute disponible, et fonctionne d'une manière tout à fait automatique et sans temps d'arrêt.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 1er juillet 1864.

Vu : Général MORIN. **H. TRESCA.**

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR DIVERS ÉCHANTILLONS DE TUILES.

M. Janvier, architecte de la ville de Paris, a remis au Conservatoire des arts et métiers trois séries d'échantillons de tuiles, afin de connaître, avant toute décision relative à la fourniture destinée aux nouveaux abattoirs, la force portante et le degré de perméabilité de ces produits.

Les trois modèles à expérimenter sont les suivants :

1° Tuile marquée : *Mongel à Bayon* (*forme brevetée*) à nervures, avec une saillie plus large au milieu, en forme de fer de lance.

Cette tuile pèse 3^k 071; ses dimensions extérieures sont 0^m 365 $\times$ 0^m 240 $=$ 0^{mq} 0876; la surface couverte par chaque tuile, déduction faite des recouvrements, est réduite à 0,323 $\times$ 0,210 $=$ 0^{mq} 0678.

2° Tuile marquée : *Tuilerie de Bourgogne, Montchanin, Saône-et-Loire*, à nervures, avec une saillie au centre, en forme de losange allongé.

Cette tuile pèse 3^k 408; ses dimensions extérieures sont 0^m 410 $\times$ 0^m 240 $=$ 0^{mq} 0984; la surface couverte par chaque tuile en place est réduite à 0,346 $\times$ 0,215 $=$ 0^{mq} 0774.

3° Tuile marquée *Muller, Ivry*, à nervures longitudinales au milieu et sur les bords.

Cette tuile pèse 3^k 200; elle mesure 0^m 400 $\times$ 0^m 255 $=$ 0^{mq} 0940; déduction faite des recouvrements, sa surface est réduite à 0^m,341 $\times$ 0,203 $=$ 0,0692.

Tous les échantillons de chaque série paraissent d'une très-bonne fabrication. Les tuiles Mongel et Montchanin sont d'une

belle teinte uniforme; les tuiles Muller sont moins colorées, et d'une nuance beaucoup moins régulière.

Les trois modèles se rapprochent d'ailleurs, au point de vue du poids par mètre carré, ainsi qu'on le voit par les chiffres suivants.

DÉSIGNATION des TUILES.	POIDS par MÈTRE CARRÉ.	POIDS par mètre carré DE SURFACE COUVERTE.
Mongel	35^{k}.06	45^{k}.29
Montchanin	34 .63	45 .80
Muller	34 .04	46 .24

Cette égalité de poids ajoute à l'intérêt que peuvent présenter des expériences comparatives.

Résistance des tuiles aux charges qu'elles peuvent supporter.

Deux tuiles de chaque système ont été successivement posées sur des tasseaux de 4 centimètres, éloignés l'un de l'autre autant que le permettaient les crochets de retenue et les nervures inférieures de recouvrement; au milieu de la distance comprise entre les tasseaux, on a posé sur chaque tuile un chevron en bois dur de 0^{m}05 d'équarrissage, et l'on a chargé avec précaution sur ce chevron jusqu'à rupture.

Voici les résultats de ce mode d'essai.

Tableau des expériences de rupture des différentes tuiles.

DÉSIGNATION des ÉCHANTILLONS.	ÉCARTEMENT intérieur DES TASSEAUX.	CHARGES ayant produit LA RUPTURE.	CHARGE moyenne DE RUPTURE.
Mongel	0^{m}.235	200^{k}	
		202	201^{k}
Montchanin	0 .255	294	
		232	263
Muller	0 .260	299	
		308	303

A ce premier point de vue, les tuiles doivent être classées ainsi qu'il suit :

1° La tuile Muller, qui, tout en présentant le plus grand écartement entre les tasseaux, a résisté à un effort de 300 kilogrammes;

2° La tuile Montchanin, avec écartement de 0 m 255, qui a résisté à 260 kilogrammes;

3° Enfin la tuile Mongel, pour laquelle l'écartement est limité à 0,235 et qui ne résiste qu'à 200 kilogrammes. Il importe toutefois de remarquer que cette résistance paraît encore bien supérieure à celle que l'on doit rechercher dans ces matériaux de construction.

Expériences d'imbibition.

Pour apprécier la facilité avec laquelle les différentes tuiles peuvent se charger d'eau par imbibition, trois tuiles ont été maintenues sous l'eau pendant une demi-heure; pesées avant l'immersion, on les a pesées à nouveau après un égouttage prolongé pendant une heure entière; enfin on les a pesées une dernière fois après trois jours d'exposition dans une chambre fermée. Voici les différents chiffres résultant de ce mode d'essai.

Tableau des expériences d'imbibition sur différents échantillons de tuiles.

DÉSIGNATION des ÉCHANTILLONS.	POIDS avant L'IMMERSION.	POIDS après L'ÉGOUTTAGE.	PROPORTION d'eau ABSORBÉE.	POIDS après LE SÉCHAGE.	PROPORTION d'eau CONSERVÉE.
Mongel.	3k.071	3k.308	0.0772	3k.102	0.010
Montchanin....	3 .408	3 .730	0.0943	3 .539	0.038
Muller........	3 .200	3 .457	0.0803	3 .279	0.025
Brique de Paris..	2 .662	2 .890	0.0854		

Il résulte de ces chiffres que la tuile Mongel absorbe et conserve

moins d'eau que les deux autres; la tuile Muller n'en absorbe pas beaucoup plus, mais elle la conserve plus longtemps. Enfin la tuile Montchanin paraît être sous ce rapport dans des conditions sensiblement moins favorables que les deux autres.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 1er juillet 1864.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

ÉTUDES

SUR

LES EAUX POTABLES.

Une question importante d'hygiène publique, celle de la constitution des eaux potables, a vivement excité, depuis quelques années, l'attention des gouvernements; en Angleterre, en Belgique, en France, elle a exercé la sagacité des chimistes les plus distingués. Obligée de pourvoir aux nouveaux besoins créés par l'accroissement rapide de la population, l'administration municipale de Paris a provoqué de nombreuses recherches sur l'eau de la Seine, sur les eaux des rivières et des sources des départements voisins de la capitale. Une grande et salutaire impulsion a été donnée aux études hydrologiques. La composition des eaux potables, les conditions qui en assurent la bonne qualité, ont été l'objet de discussions importantes à l'Académie des sciences, à l'Académie de médecine et dans la *Presse*. Le conseil de salubrité du département de la Seine, fidèle à sa mission et inspiré par la vive sollicitude de son Président, M. le Préfet de police, pour les intérêts de ses administrés, s'est occupé de constater la composition de l'eau de la Seine, en amont et en aval de Paris, les altérations qu'elle subit en traversant la ville et les communes suburbaines depuis le pont d'Ivry jusqu'à Saint-Ouen, et l'influence de ces altérations sur la salubrité des eaux distribuées à la population par les machines établies en différents points du fleuve. Ce travail considérable a été exécuté par M. Boudet, au Conservatoire impérial des arts et métiers, dont les laboratoires sont toujours ouverts aux savants qui ont à traiter des sujets d'un haut intérêt public.

L'état présent de la question des eaux potables, les discus-

sions dont elle est l'objet, justifient l'insertion dans nos annales d'un rapport qui, indépendamment des faits importants, des observations judicieuses qu'il renferme, peut être considéré comme un excellent modèle à suivre pour les conseils de salubrité de nos départements.

Nous publions en même temps un mémoire de notre collègue, M. Peligot, « sur les matières organiques contenues dans les eaux. » Matières organiques dont M. Peligot cherche à définir la nature et dont la proportion augmente à mesure que l'industrie prend plus de développement dans les grands centres de population traversés par les rivières. C'est à l'occasion des études sur les eaux potables, faites avec les soins qu'y ont apportés MM. Peligot et Boudet, que M. Dumas a dit, comme président de la Commission municipale de la Seine, qu'il était heureux de voir confirmer les quatre principes qui l'ont constamment guidé dans une question où sa responsabilité était engagée. 1° Exclusion, dès qu'on le pourra, des eaux prises en aval de Paris; 2° préférence accordée aux eaux prises en amont; 3° conviction arrêtée que les matières organiques qui se mêlent aux eaux, sont très-lentes à se détruire; 4° séparation, le plus tôt possible, des eaux domestiques ou potables et des eaux municipales destinées à laver les rues et les égouts.

(*Commission de la rédaction.*)

ÉTUDES

SUR LA COMPOSITION DES EAUX,

(TROISIÈME MÉMOIRE).

RECHERCHE DES MATIÈRES ORGANIQUES CONTENUES DANS LES EAUX,

PAR M. EUGÈNE PELIGOT.

Ayant eu occasion, dans une des leçons faites au Conservatoire des arts et métiers, de soumettre à un examen comparatif les différentes eaux qui alimentent Paris, je fus frappé de l'aspect et de l'abondance du dépôt que fournissent les eaux de la Seine et du canal de l'Ourcq quand on y verse une dissolution neutre et concentrée d'azotate d'argent. Cette expérience a été le point de départ des recherches dont je viens entretenir l'Académie.

On sait que l'azotate d'argent sert à déceler la présence des chlorures dans les liqueurs acidulées par l'acide azotique. Les eaux de la Seine et du canal de l'Ourcq donnent dans ces conditions un précipité très-peu abondant de chlorure d'argent. Mais comme elles ont une réaction légèrement alcaline, à cause du carbonate de chaux qu'elles tiennent en dissolution, le dépôt blanc fourni par le même réactif à l'état neutre est beaucoup plus considérable. Ses éléments principaux sont le carbonate et le chlorure d'argent; son poids est de $0^g\,3$ environ par litre d'eau.

En chauffant ce précipité dans un petit tube de verre, il devient noir et il donne des vapeurs ammoniacales très-sensibles à l'odorat et au papier rouge de tournesol. Il contient, par conséquent, une petite quantité de matière organique azotée.

L'azotate de plomb, substitué au sel d'argent, fournit des indications encore plus nettes, bien que le précipité qu'il développe soit d'une nature plus complexe. Soumis à la calcination, il

noircit en donnant des produits empyreumatiques qui rappellent l'odeur de la laine brûlée, et des vapeurs ammoniacales.

La plupart des dissolutions métalliques agissent de la même manière. Le sulfate de cuivre, le sulfate de protoxyde de fer, le protochlorure et surtout le perchlorure de fer, ajoutés à l'eau en quantité convenable, y font naître des précipités nuageux qui se déposent plus ou moins rapidement au fond des vases. Avec le chorure ferrique, le dépôt se sépare au bout de quelques minutes sous forme de flocons ocreux. Avec le sulfate de cuivre, l'eau n'est débarrassée du précipité verdâtre qui s'y développe qu'après 12 à 15 heures de repos.

Ces précipités sont des mélanges de carbonates, de divers autres sels minéraux et d'oxydes en combinaison avec une ou plusieurs matières organiques que ces eaux tiennent en dissolution. Le carbonate de chaux, qu'elles ont dissous à la faveur de l'acide carbonique qu'elles contiennent, agit à la manière d'un carbonate alcalin. Aussi, la nature du précipité varie avec les quantités respectives des sels mis en présence. Avec le sulfate de cuivre, par exemple, on a du sous-sulfate précipité si le carbonate de chaux dissous dans l'eau n'est pas resté en excès par rapport au réactif employé. Dans le cas contraire, le dépôt est formé principalement de carbonate basique de cuivre. Avec les sels de fer, le précipité ocreux est formé essentiellement d'hydrate ferrique et d'oxyde de fer unis à la matière organique. Le perchlorure de fer exerce sur plusieurs des matières organiques contenues dans les eaux un effet des plus prompts et des plus remarquables. C'est un désinfectant très-énergique, très-efficace, qui enlève instantanément aux eaux marécageuses comme aux eaux putrides leur odeur caractéristique.

Il est essentiel d'ajouter aux eaux soumises à ces épreuves le sel métallique en proportion exactement convenable pour agir sur le carbonate calcaire ; quand le réactif est employé en trop grande proportion, l'action est nulle, l'eau reste parfaitement limpide. Aussi convient-il de déterminer préalablement la composition de cette eau par un simple essai hydrotimétrique.

Mes expériences sur les eaux de la Seine et de l'Ourcq ou sur le mélange de ces eaux que la ville distribue à ses abonnés, ont été faites depuis le mois de février 1863 jusqu'au mois de mars de cette année. Leur titre hydrotimétrique a varié entre 20 et

30 degrés; elles contenaient par conséquent par litre environ 0g2 à 0g3 de substances minérales. Le carbonate de chaux forme, comme on sait, la plus grande partie, les trois quarts à peu près, du résidu qu'elles laissent à l'évaporation.

Je parlerai d'abord des expériences que j'ai faites avec le perchlorure de fer.

Pour obtenir en quantité considérable le dépôt ocreux qu'il fournit avec les eaux de diverses provenances, j'ai fait usage d'un grand flacon jaugé en verre, d'une capacité de 25 litres environ, ayant à quelques centimètres de son fond une tubulure en verre munie d'un robinet. Le flacon étant plein de l'eau qu'il s'agit d'étudier, on y ajoute une quantité convenable d'une dissolution titrée de sesquichlorure de fer sublimé, faite, par exemple, en faisant dissoudre 20 grammes de ce corps dans une quantité d'eau suffisante pour donner un litre ou un demi-litre de dissolution. Au bout de quelques minutes, des flocons ocreux apparaissent au sein de l'eau qui devient d'abord trouble; ces flocons se précipitent rapidement au fond du vase. On ouvre le robinet qui laisse écouler l'eau limpide qui surnage. Quand le flacon ne renferme plus que l'eau qui accompagne le magma ocreux qui se trouve au-dessous de la tubulure, on le remplit d'eau une seconde fois et on ajoute la quantité voulue de perchlorure de fer. En répétant quatre fois cette opération, on recueille rapidement dans la partie inférieure du vase le dépôt fourni par une centaine de litres d'eau.

La quantité de réactif à employer doit être sensiblement égale à celle des matières minérales que l'eau renferme. Avec une moindre proportion, le précipité ferrugineux renferme du carbonate de chaux qu'on peut, d'ailleurs, en séparer à l'aide de l'acide chlorhydrique très-étendu, après avoir desséché et réduit en poudre ce précipité. On constate, à l'aide du prussiate de potasse, que l'eau limpide qui surnage le dépôt renferme un léger excès de fer en dissolution.

Si le perchlorure de fer a été faiblement acidulé par l'acide chlorhydrique, le précipité ferrugineux, recueilli sur un filtre lavé et séché, ne contient pas de sel calcaire.

Dans le but d'obtenir un dépôt plus chargé de matière organique, on peut ajouter au magma ocreux qui reste au fond du

vase une quantité d'acide chlorhydrique insuffisante pour le dissoudre complétement : l'hydrate de sesquioxyde de fer se dissout de préférence au composé qu'il donne avec la matière organique. On forme ainsi de nouveau la dissolution ferrugineuse qui agit sur l'eau dont on remplit ensuite le flacon. En répétant cette opération un grand nombre de fois, je suis arrivé à avoir des dépôts ocreux renfermant jusqu'à 1.5 p. 0/0 d'azote, ce qui représente environ 40 p. 0/0 de matière organique.

Le poids du dépôt ocreux sec, obtenu directement, a varié entre 0g094 et 0g131 par litre d'eau.

L'analyse en a été faite par les procédés ordinaires ; l'oxyde de fer a été dosé par calcination ; le carbone et l'hydrogène par l'oxyde de cuivre ; l'azote par la chaux sodée et l'acide sulfurique très-dilué.

L'une des analyses exécutées sur cette matière a fourni les résultats qui suivent :

0g.500 dépôt ocreux exempt de sel calcaire desséché à 120°.

0.419 oxyde ferrique par calcination.

Soit 83,8 Fe^2O^3 p. 0/0 de matière.

2g.000 du même dépôt ont donné par leur combustion avec l'oxyde de cuivre :

0g.253 eau et 0g216 acide carbonique.

2g.000 même matière brûlée avec la chaux sodée, pour le dosage de l'azote.

10 c. c.	acide sulfurique titré,	avant	=	24.5
10 c. c.	id.	après	=	22.5
				2.0

(10 c. c. de cet acide titré équivalent à 0g0875 d'azote.)

La plus grande partie du fer se trouvant dans cette matière à l'état d'hydrate $Fe^2O^3, 3HO$, il n'est pas possible de déterminer à l'aide des seules données qui précèdent la composition de la matière organique engagée dans ce mélange. Il n'existe, en effet, aucun moyen qui permette de distinguer l'eau qui préexiste dans l'hydrate ferrique d'avec celle qui résulte de la combustion de cette matière organique par l'oxyde de cuivre.

Néanmoins, si on admet, ce qui est très-probable, que cette matière est la même que celle dont il sera question plus loin et

que j'ai analysée en combinaison avec l'oxyde de plomb, on peut déterminer approximativement la composition de ce mélange. Le rapport entre le carbone et l'hydrogène du composé plombeux permet en effet de fixer par le calcul la quantité d'hydrogène renfermée dans la matière organique unie à l'oxyde de fer. En déduisant, par conséquent, sous forme d'eau, ce poids de la quantité totale d'eau fournie par la combustion avec l'oxyde de cuivre, la différence donne l'eau qui appartient à l'hydrate ferrique, et, par suite, la proportion de ce corps. L'oxyde de fer qui reste en excès, représente celui qui se trouve en combinaison avec la matière organique. Les autres données sont fournies directement par l'analyse.

C'est en suivant cette marche que je me crois autorisé à représenter par les nombres suivants la composition de ce dépôt ferrugineux :

Hydrate ferrique	77.5
Matière organique azotée	4.8
Oxyde de fer combiné avec cette matière	17.7
	100.0

Ces nombres ne représentent qu'une approximation; mais celle-ci est suffisante, puisqu'il ne s'agit ici que de mélanges qui, selon la nature des eaux et les conditions de l'expérience, présentent eux-mêmes des proportions variables dans leurs éléments.

La matière organique, dont je donnerai ci-après la composition élémentaire, appartient à la classe de ces matières nombreuses, encore mal définies, qu'on a désignées sous le nom de *produits humiques*. C'est, par conséquent, une matière de couleur brune. Aussi, quand on traite par la potasse caustique le dépôt ocreux qui en renferme environ 5 pour 100, on obtient une dissolution brune, exempte de fer, dans laquelle le produit organique se trouve en combinaison avec l'alcali. Ce produit, à l'état isolé, contient de 3 à 3.5 pour 100 d'azote.

Ainsi, l'eau de la Seine et l'eau du canal de l'Ourcq, prises dans l'intérieur de Paris, contiennent en dissolution une matière organique brune. Cette substance s'y trouve en si faible poids qu'elle n'affecte pas leur couleur; un litre d'eau ne contient que quelques milligrammes de cette matière colorante.

Cette matière n'est certainement pas la seule substance d'ori-

gine organique contenue dans ces eaux; il est fort probable qu'elles en renferment encore d'autres qui ont été entrevues par la plupart des chimistes qui se sont occupés de l'analyse des eaux douces, et qu'on arrivera plus tard à en séparer par d'autres procédés.

Si faible qu'en soit la quantité, la présence d'une matière brune et azotée dans des eaux publiques, qu'on considère généralement comme étant de bonne qualité, me semble présenter un intérêt réel. Pour l'eau comme pour l'air atmosphérique, il n'est point de petits faits. Loin de dédaigner les corps qui s'y rencontrent en très-faible proportion, c'est surtout à leur recherche et à leur étude qu'il faut s'attacher désormais.

La matière organique brune que ces eaux contiennent paraît y être, en partie du moins, en combinaison avec l'oxyde de fer qu'elles renferment en très-petite quantité. Son affinité pour cet oxyde est très-grande, et par suite sa séparation de ces dépôts ocreux très-difficile.

Quand on dissout, en effet, le précipité ocreux dans un acide et qu'on essaye de précipiter l'hydrate de fer par un alcali, on a une séparation très-incomplète à froid, car le précipité ocreux qui se forme entraîne la plus grande partie de la matière organique. Si on opère à chaud, on risque de décomposer celle-ci et d'en séparer une partie de l'azote à l'état d'ammoniaque. Avec le sulfhydrate d'ammoniaque, les résultats ne sont pas plus satisfaisants ; la matière organique se retrouve encore dans le dépôt noir qui prend naissance.

Cette affinité pour l'oxyde de fer est tellement grande, qu'alors même qu'on cherche à précipiter cette matière par un sel d'un autre métal, tel que l'azotate de plomb, le sulfate de cuivre, etc., le dépôt qui se forme est encore ferrugineux. Je suis porté à croire, en effet, que dans les eaux de la Seine et de l'Ourcq la très-petite quantité de fer qui s'y trouve est associée à cette matière organique. L'expérience suivante tend à le prouver. On verse dans ces eaux la quantité de soude caustique pure ou de chaux éteinte strictement nécessaire pour saturer l'acide carbonique qui tient en dissolution le carbonate de chaux. Celui-ci se précipite et entraîne avec lui la matière organique et l'oxyde de fer. Ce précipité, après avoir été traité par l'acide chlorhydrique en excès, de manière à concentrer le fer et la matière organi-

que dans le calcaire non dissous, contient 10 à 20 pour 100 d'oxyde de fer, combiné à une matière organique donnant par la calcination des vapeurs ammoniacales et une odeur empyreumatique très-sensible.

Une liqueur alcaline ajoutée à l'eau de la Seine en proportion convenable, permet par conséquent d'en séparer la partie la plus considérable des matières qui s'y trouvent dissoutes. On sait, en effet, que le carbonate de chaux dissous à la faveur de l'acide carbonique représente les trois quarts environ du poids du résidu laissé par l'évaporation de cette eau. L'expérience suivante montre combien ce moyen de purification est efficace. On a ajouté à 75 litres d'eau la quantité de soude caustique convenable pour saturer l'acide carbonique. Le dépôt calcaire, qui s'est formé du jour au lendemain, pesait 13g 225; il représente par conséquent 0g 176 par litre d'eau. Aussi tandis que l'eau sur laquelle cette expérience a été faite marquait 20 degrés hydrométriques avant l'addition de la soude, elle ne marquait plus que 3 degrés après la séparation du précipité calcaire. Celui-ci contenait environ 2 pour 100 d'oxyde de fer.

En ajoutant à l'eau ainsi purifiée du perchlorure de fer un peu acide, le dépôt ferrugineux qu'on obtient donne par la calcination des vapeurs acides d'acide chlorhydrique; il fournit des vapeurs à peine alcalines quand on le chauffe en présence de la potasse; ainsi presque toute la matière organique se trouve dans le précipité calcaire fourni par l'addition de la soude. J'ai constaté qu'on retrouve cette même matière unie à l'oxyde de fer dans les dépôts qui se font soit dans les chaudières à vapeur, soit dans les vases qui servent à échauffer ces eaux.

La substitution de l'azotate de plomb au sesquichlorure de fer permet de précipiter la matière organique contenue dans les eaux dans un état qui rend son examen plus facile. C'est au moyen du composé que cette matière forme avec l'oxyde de plomb que sa composition élémentaire a été déterminée.

Le dépôt plombeux que fournissent les eaux de Seine quand on y ajoute une petite quantité d'une dissolution de plomb, est de nature complexe. En versant dans ces eaux 0g.2 à 0g.4 d'azotate de plomb par litre d'eau, le poids du précipité blanc jaunâtre qu'on recueille varie entre 0g.4 et 0g.5. Il est facile de se procu-

rer une assez grande quantité de ce dépôt en opérant comme il a été indiqué ci-dessus pour le précipité ferrugineux, ou en se servant d'une dizaine de flacons ordinaires, de 10 à 12 litres de capacité, dans lesquels on laisse le précipité plombeux s'accumuler. Quand l'eau qui surnage est limpide, on la décante avec un siphon, on remplit le flacon d'une nouvelle quantité d'eau, et on y ajoute la quantité voulue d'une dissolution titrée d'azotate de plomb.

Ce dépôt est de nature complexe. Indépendamment du carbonate de plomb qu'il renferme en grande quantité, il contient du sulfate et du sous-azotate de plomb et la matière organique combinée avec l'oxyde de plomb. Tel qu'il se produit directement, il noircit par la calcination en donnant des vapeurs ammoniacales très-sensibles, bien qu'il ne contienne guère qu'un dix-millième d'azote.

En déterminant chacun des éléments constituants de ce mélange, on trouve qu'il se compose de :

Carbonate de plomb	79.6
Sulfate de plomb	13.2
Sous-azotate de plomb	0.6
Matière organique azotée	2.1
Oxyde de plomb combiné avec cette matière	4.5
	100.0

L'analyse de ce mélange a été faite en en traitant un certain poids par l'eau bouillante, qui dissout le sous-azotate.

Le résidu est traité par l'acide azotique en excès; on pèse le sulfate de plomb qui reste indissous.

Dans la dissolution, on précipite le plomb à l'état de sulfate; on dose ainsi par conséquent l'oxyde qui se trouvait à l'état de carbonate et à l'état de combinaison avec la matière organique.

Enfin, on dose l'acide carbonique du carbonate au moyen d'un des appareils qui sont employés pour l'analyse des carbonates. Par le poids de cet acide, qu'on détermine ainsi par perte, on a celui du carbonate de plomb, et par conséquent celui de l'oxyde de plomb, qui est combiné avec la matière organique. Comme celle-ci ne s'obtient que par différence, sa détermination ne peut être considérée que comme approximative.

Mais il est facile, sinon d'isoler complétement la matière or-

ganique, au moins de la séparer de la plus grande partie des corps qui l'accompagnent.

On traite le dépôt plombeux par l'acide azotique très-étendu et en léger excès : tout se dissout, à l'exception du sulfate de plomb. En ajoutant à la liqueur une quantité convenable de lait de chaux, il se fait un abondant précipité formé de sous-azotate de plomb, qu'on sépare par l'eau bouillante, et de la matière organique unie à l'oxyde de plomb. C'est un précipité jaunâtre qu'on traite par l'eau chaude jusqu'à ce que la liqueur qui traverse le filtre soit exempte de plomb.

Ce précipité est séché sur la chaux vive, puis à 110°. Il renferme 65.7 d'oxyde de plomb et 34.3 de matière organique. Celle-ci présente la composition suivante :

Carbone	53.1
Hydrogène	2.7
Azote	2.4
Oxygène	41.8
	100.0

Un autre échantillon, préparé par un procédé différent, a donné 3,0 d'azote pour 100 de matière organique.

Ces nombres suffisent pour établir, non pas la formule de cette substance, car je suis loin d'admettre qu'elle constitue une espèce chimique, mais pour montrer de quelle classe de corps il convient de la rapprocher. Ses propriétés et son origine lui assignent une parenté très-prochaine avec les acides crénique et apocrénique que Berzelius a découverts dans les eaux minérales, notamment dans l'eau de Porla. Cette eau, bien que provenant d'une source très-abondante, contient cependant ces corps en si grande quantité qu'elle en est jaune. Au contact de l'air, ajoute le célèbre chimiste suédois, elle laisse déposer une ocre brune qui contient du crénate basique de peroxyde de fer et de l'apocrénate. Berzelius fait bouillir le dépôt ocreux avec une dissolution de potasse; le liquide brun qu'il obtient est saturé par l'acide acétique, et on y ajoute de l'acétate de cuivre. On sépare ainsi l'apocrénate de cuivre. Quant au crénate, on l'isole à l'aide du même réactif, après avoir saturé la liqueur par un léger excès de carbonate d'ammoniaque.

Dans mes expériences, je n'ai pas osé suivre la méthode de

Berzelius; j'ai évité soigneusement l'emploi d'un acide végétal et de l'ammoniaque pour isoler une substance organique peu abondante et pauvre en azote.

D'après Berzelius, ces deux acides sont le produit de la décomposition des substances végétales. Dans son rapport annuel sur les progrès de la chimie présenté en 1844 à l'Académie des sciences de Stockholm, il les rapproche des éléments organiques provenant de la terre arable, à l'occasion des travaux de M. Hermann et de M. Mulder sur les matières du terreau. Il donne l'analyse de l'apocrénate de cuivre faite par M. Mulder. En ce qui concerne la matière organique, les nombres obtenus par ce chimiste sont les suivants :

Carbone	51.8
Hydrogène	3.7
Azote	3.3
Oxygène	41.2
	100.0

L'acide apocrénique avait été extrait par M. Mulder de trois échantillons de terres cultivées prises en Hollande.

Ces nombres, qui s'écartent assez peu de ceux que j'ai obtenus, suffisent pour établir l'analogie, l'identité même probablement, qui existe entre ce produit et celui que j'ai séparé des eaux. Le composé de matière organique colorée, d'alumine et de peroxyde de fer que M. Chevreul a signalé en 1824 dans le sol de la caverne de Kuyloch, plusieurs des nombreuses substances qu'il a extraites du suint, enfin les produits bruns que M. Paul Thenard a séparés du jus du fumier et des terres arables appartiennent à la même famille.

Ces diverses substances ont pour origine commune la décomposition de certaines matières organiques qui, avant de subir cette combustion définitive qui les rend à la circulation sous forme d'eau, d'acide carbonique, d'ammoniaque ou d'acide azotique, se métamorphosent en des produits bruns, très-aptes à se combiner à certains oxydes, jouissant encore d'une assez grande stabilité relative. Ces produits, entraînés par les eaux pluviales avec les éléments minéraux qu'elles empruntent au sol, se retrouvent à l'état de dissolution soit dans quelques eaux minérales, soit même dans les eaux des rivières. C'est à cette cause

qu'il faut sans doute attribuer la couleur jaune des eaux des terrains tourbeux et de celles des landes de Bordeaux.

Il était intéressant de rechercher dans d'autres eaux publiques, réputées pour leurs bonnes qualités, la matière organique qui se trouve dans les eaux de la Seine et de l'Ourcq. Me trouvant au Havre au mois de septembre dernier, je soumis à quelques expériences les eaux que l'administration de cette ville distribue à ses habitants, eaux dont j'avais pu apprécier l'excellente nature.

Celles que j'ai examinées provenaient des terrains crayeux de l'embouchure de la Seine, des sources de la rivière de Gournay et de Saint-Laurent. Elles sont fraîches, limpides, d'un goût excellent. L'administration havraise les distribue avec une libéralité dont elle n'a pas trouvé ailleurs la tradition; car des fontaines très-nombreuses, coulant à plein robinet, les déversent jour et nuit dans les rues de la ville.

Le dépôt ocreux fourni par 10 litres de cette eau et le sesquichlorure de fer donne par la calcination des vapeurs acides; il renferme en effet du sous-sulfate de fer. Chauffé avec la potasse, il ne fournit pas de vapeurs ammoniacales; son analyse par la chaux sodée permet d'y constater l'absence de toute matière azotée.

Ainsi, cette eau paraît être exempte de tout principe organique; elle contient néanmoins des principes minéraux en quantité relativement considérable, double au moins de celle que renferme l'eau de la Seine. Elle marque à l'hydrotimètre 35 à 40 degrés. Un litre laisse par l'évaporation à siccité 0g,560 de résidu.

Celui-ci renferme :

Carbonate de chaux	64.1
Sulfate de chaux	12.7
Sel marin	15.2
Autres sels alcalins, silice, etc., non dosés	8.0
	100.0

Cette eau, excellente pour la boisson, très-supérieure à aucune de celles qu'on consomme à Paris, ne convient pas pour le savonnage. Mais on sait qu'au Havre presque toutes les maisons sont pourvues de citernes fort bien construites, et que l'eau de citerne convient mieux qu'aucune autre pour cet emploi.

Qu'il me soit permis, à l'occasion de cette étude comparative, de soumettre à l'Académie quelques réflexions sur l'usage un peu abusif qu'on a fait du procédé hydrotimétrique comme moyen d'apprécier la qualité des eaux. Sans doute, quand il s'agit de savoir si une eau convient plus ou moins pour le savonnage, pour l'alimentation des chaudières, pour la teinture, etc., l'emploi d'une dissolution titrée de savon suffit pour donner une indication utile; je suis loin de méconnaître les services que rend ce procédé d'une exécution si simple et si rapide, lorsque les résultats qu'il fournit sont convenablement interprétés. Mais, à mon point de vue, c'est là le petit côté de la question; sauf ces cas spéciaux, une eau potable peut être infiniment supérieure à une autre pour ses qualités les plus essentielles, notamment pour la boisson, bien qu'elle fournisse un degré hydrotimétrique beaucoup plus élevé.

C'est ainsi que l'eau de Saint-Laurent, tout en marquant environ 40 degrés hydrotimétriques, est bien préférable à l'eau de la Seine, qui n'en marque que 18 à 20. Ces eaux viennent néanmoins toutes deux des terrains calcaires; elles renferment les mêmes principes minéraux; mais la meilleure est, à mon sens, celle qui en renferme le plus, parce qu'elle est exempte de produits organiques.

J'irai plus loin : je suis porté à admettre que, dans certains cas, le degré hydrotimétrique d'une eau est en raison inverse de sa qualité.

J'ai fait à ce sujet quelques expériences sur l'eau de la Seine. On a pris, en pleine rivière, le même jour, le 4 avril, un échantillon d'eau à Bercy, un autre dans le grand bras de la Seine, après le Pont-Neuf, un troisième après le Pont de la Concorde :

L'eau de Bercy marquait.	21.5°	hydrotimétriques;
L'eau du grand bras marquait. . .	20.8°	—
L'eau de la Concorde marquait. . .	20.8°	—

Néanmoins, l'eau de Bercy était évidemment meilleure que celle qui avait traversé la ville[1].

1. Pour constater des différences aussi petites, le procédé hydrotimétrique doit recevoir deux modifications très-légères. Il convient, d'une part, de mesurer avec une pipette graduée l'eau soumise à l'essai : le flacon jaugé dont on se sert habituellement ne peut donner qu'une mesure approximative. Il est utile, d'autre

Chacun peut remarquer, surtout pendant l'été, l'aspect différent que présente l'eau de la Seine, du grand bras de la Seine, après le Pont-Neuf, et celle du petit bras, où se trouve l'écluse de la Monnaie. Retardée par le barrage, celle-ci est toujours beaucoup plus trouble, et elle offre souvent un état d'altération si marqué que les bateliers qui séjournent sur cette partie de la rivière vont chercher ailleurs l'eau potable dont ils ont besoin.

Deux échantillons de ces eaux, prélevés au même instant, m'ont donné :

Grand bras....................	21°.6
Petit bras....................	20°.1

Ainsi, dans ces circonstances particulières, l'eau la meilleure est encore celle qui contient en dissolution la plus forte proportion de substances minérales.

Ce résultat n'a rien qui puisse surprendre et qui ne soit de nature à être facilement expliqué. En traversant la grande ville, l'eau reçoit des matières organiques de nature et d'origine très-diverses, des composés ammoniacaux, des eaux ménagères et savonneuses qui en séparent des produits calcaires et qui les remplacent. Avant d'arriver dans le flacon de l'opérateur, elle a déjà subi partiellement son essai hydrotimétrique. C'est pour cette raison, et aussi à cause de la déperdition de l'acide carbonique et du dépôt de carbonate de chaux qui en est la conséquence, que l'eau de la Seine laisse pendant l'été, quand la rivière est très-basse, un résidu moins abondant que pendant l'hiver. Cette eau, pendant la saison chaude, est néanmoins souvent très-odorante, surtout au sortir de la ville; à Grenelle, au Bas-Meudon, à Sèvres, il est souvent impossible de la boire sans une répugnance très-fondée.

En exagérant les conséquences de cette opinion, je me suis demandé si l'eau qui se répand dans la Seine à la sortie du grand égout collecteur qui débouche à Asnières ne marquerait pas un degré hydrotimétrique moins élevé que l'eau de la rivière prise en amont de cet égout. Cette eau est très-infecte, très-mous-

part, d'entourer d'un bouchon ou d'un manchon en bois la partie de la burette qui se trouve en contact avec les doigts, afin d'éviter la dilatation que subit sous l'influence de la chaleur la dissolution alcoolique du savon.

seuse. Dans un rapport remarquable lu au conseil de salubrité le 21 juin 1861, M. Félix Boudet, qui s'est également occupé, ainsi que M. Poggiale, des matières organiques contenues dans les eaux de Paris, a constaté qu'on trouve, à l'aide des procédés qu'on doit à M. Boussingault, dans l'eau de la Seine, prise à 300 mètres en aval de l'égout, dix-huit fois plus d'ammoniaque que dans l'eau de la Seine prise dans les conditions ordinaires. Le 12 mai dernier, l'eau que j'ai prise à la bouche de cet égout était en pleine putréfaction, avec une réaction alcaline bien marquée. Filtrée, elle contenait par litre $0^{g},867$ de matières en dissolution, et cependant elle ne marquait que 53 degrés hydrotimétriques. Ce résultat est dû à ce que les matières organiques ont peu d'influence sur l'hydrotimètre. L'eau de la Seine, prise en amont de l'égout, marquait 22°. Par conséquent, l'expérience n'a pas confirmé ma prévision : les différences ne peuvent être utilement appréciées qu'autant qu'on opère dans des conditions normales; elles ne peuvent être, d'ailleurs, que peu considérables.

Mais la nature de l'eau sortie de l'égout d'Asnières, son odeur d'urine putréfiée, m'ont conduit à la soumettre à un examen plus attentif. Le résidu sec laissé par l'évaporation de moins d'un litre de cette eau a été traité par l'alcool absolu et la dissolution a été à son tour évaporée au bain-marie. Le nouveau résidu, redissous dans l'eau, a été *dialysé*, c'est-à-dire soumis à ce procédé de séparation si précieux dont M. Graham a récemment enrichi la chimie analytique. En évaporant l'eau dans laquelle plongeait le dialyseur et en traitant le résidu par l'acide azotique, j'ai obtenu des cristaux qui m'ont présenté les caractères de l'*azotate d'urée*.

L'eau de la Seine, prise à une centaine de mètres au-dessous de l'égout, a donné les mêmes indices, en étudiant avec le microscope l'action de l'acide azotique sur les résidus moins abondants soumis aux mêmes épreuves.

Ces résultats pouvaient être prévus. On trouve dans l'eau de la Seine ce qu'on y met. Il me paraît probable qu'on exagère beaucoup la promptitude avec laquelle les matières organiques doivent disparaître sous l'influence de l'air qui se trouve en dissolution dans l'eau. Les résidus organiques, qu'ils proviennent de l'homme même ou de son industrie, présentent une certaine

stabilité, par cela même que ce sont des résidus. Vauquelin a établi, il y a quarante ans, par des expériences précises, que la décomposition totale de l'urée dans l'eau est beaucoup plus lente qu'on ne le suppose généralement.

Cet examen de l'eau d'Asnières montre que ce n'est pas sans raison que les habitants des rives baignées par ces eaux infectes se plaignent de la manière dont on pratique la centralisation à leur égard. Il est assurément bien à souhaiter que le travail de l'égout collecteur soit continué et que l'agriculture soit mise promptement en possession de matières dont elle tirera le plus utile parti, et qui sont actuellement pour les pays qui les reçoivent une cause de malaise et de désolation.

En revenant aux questions que j'ai traitées avant cette digression, j'arrive à l'une des conclusions pratiques de ce travail. A mesure que l'industrie prend un plus grand développement, l'eau des rivières qui traversent les grands centres de population devient moins pure; car sa masse restant la même, les matières qu'on y déverse deviennent chaque jour plus abondantes. Les professeurs de chimie qui, comme moi, font depuis longues années et périodiquement l'examen comparatif des eaux de Paris, ont bien dû reconnaître que les eaux de la Seine et de l'Ourcq ne sont plus aujourd'hui ce qu'elles étaient il y a vingt ou trente ans. Les industries les plus gênantes au point de vue de l'hygiène publique sont assurément celles qui sont fondées sur le traitement des produits dérivés des animaux : comme elles ne peuvent exister qu'en raison d'une grande agglomération d'individus, on ne peut pas songer à les déplacer; il faut donc se résigner à leur sacrifier la rivière, dans laquelle on les contraint à envoyer, par la voie la plus sûre et la plus courte, tous les débris de leurs fabrications.

La Seine échappe moins que toute autre rivière à cette cause incessante d'altération. Aussi doit-on savoir grand gré à l'administration municipale d'avoir devancé l'opinion publique sur la nécessité prochaine de pourvoir la cité d'eaux de meilleure qualité, et applaudir aux efforts qu'elle fait depuis plusieurs années pour réaliser cette importante amélioration.

SUR LA SALUBRITÉ DE L'EAU DE LA SEINE

ENTRE LE PONT D'IVRY ET SAINT-OUEN,

considérée comme eau potable.

RAPPORT *adressé à M. le Préfet de police au nom du Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine,*

PAR M. FÉLIX BOUDET.

L'eau joue un rôle si considérable dans l'alimentation de l'homme, dans l'économie domestique et dans l'industrie; les conditions de pureté et de salubrité qu'elle peut offrir intéressent à un si haut degré la santé et le bien-être des populations, qu'à toutes les époques de la civilisation la question des eaux a vivement préoccupé les gouvernements. Pénétré de l'importance de cette question, vous avez exercé avec une sollicitude toute particulière votre vigilance sur la qualité des eaux distribuées aux habitants du département de la Seine, et vous avez invoqué les lumières du Conseil de Salubrité dans toutes les circonstances où quelques inquiétudes se sont manifestées à ce sujet.

Ainsi, pour ne parler que d'une époque toute récente, M. le maire de Batignolles vous ayant déféré, le 30 avril 1859, une plainte sur l'insalubrité de l'eau livrée à ses administrés, vous avez immédiatement saisi de cette affaire le Conseil de Salubrité, et le 10 juin suivant, le Conseil, dans son rapport, constatait la légitimité des réclamations du maire de Batignolles, et, en vous proposant d'ordonner le déplacement de la prise d'eau d'Asnières et sa translation en plein courant du fleuve, vous signalait un moyen assuré de remédier au mal trop réel qui vous était dénoncé. La prise d'eau qui alimentait le réservoir de Batignolles se trouvait établie dans la Seine à 16 mètres de la rive gauche et à 300 mètres seulement en aval de la bouche du grand égout

collecteur; c'était évidemment un mélange des déjections de cet égout avec l'eau de la Seine, que venait puiser le tuyau aspirateur des machines de la Compagnie générale des eaux.

A l'aspect seul du fleuve sur ce point, il était facile de reconnaître que l'eau s'y trouvait profondément altérée; mais l'analyse chimique m'a permis de déterminer en quelque sorte le degré d'altération qu'elle présentait.

Les substances minérales que les égouts de Paris peuvent introduire dans la Seine sont en proportion trop faible et d'une nature trop inoffensive pour modifier d'une manière notable la qualité de ses eaux; mais il n'en est pas de même des matières organiques et surtout des matières azotées qui, s'y trouvant toujours en voie de fermentation ou de décomposition plus ou moins avancée, doivent, indépendamment de la répugnance qu'elles inspirent, du goût et de l'odeur désagréable qu'elles communiquent à l'eau, exercer une influence fâcheuse sur la santé des consommateurs.

La détermination directe de la proportion de ces matières dans les eaux serait très-difficile à réaliser d'une manière rigoureuse, et ne pourrait fournir que des notions bien vagues sur leur nature éminemment variable et complexe; mais, en se décomposant, ces matières produisent de l'ammoniaque qui se trouve nécessairement en rapport de proportion avec elles et qui reste en dissolution dans l'eau; or, comme les ingénieux procédés que la science doit à M. Boussingault permettent de doser cette ammoniaque avec une admirable exactitude, à un centième de milligramme près, le dosage et la comparaison des quantités d'ammoniaque contenues dans des eaux diverses, recueillies dans des conditions semblables, doivent être considérés comme le moyen le plus délicat et le plus précis de mesurer les proportions relatives des matières organiques azotées que ces eaux renferment, et leur degré d'insalubrité qui est intimement lié à la décomposition de ces matières et à la formation de l'ammoniaque, le produit le mieux caractérisé de cette décomposition.

Cette insalubrité, toutefois, il importe de le remarquer, ne doit pas être attribuée à l'ammoniaque qui, dans les limites où elle se rencontre dans les eaux, ne saurait être par elle-même nuisible à la santé; elle tient essentiellement à la matière organique dont l'ammoniaque est le produit, et à l'état de décomposition

continu dans lequel se trouve cette matière et dont l'ammoniaque, par ses proportions, révèle l'activité.

D'après les considérations qui précèdent, le dosage de l'ammoniaque dans les eaux potables est l'épreuve la plus concluante à laquelle on puisse les soumettre pour les apprécier; au point de vue des proportions et de la nature des matières azotées qu'elles peuvent contenir, et de l'insalubrité que ces matières leur communiquent, cette insalubrité dépendant moins de la présence dans les eaux des matières organiques elles-mêmes, que de leur nature et de leur état de fermentation et de décomposition.

Cet exposé des principes qui m'ont dirigé dans mes recherches m'a paru nécessaire, Monsieur le Préfet, pour fixer les idées sur la question délicate et un peu vague de l'insalubrité des eaux potables, et pour loyalement établir la valeur des résultats de ces recherches, aussi bien que la légitimité des conséquences que j'ai cru devoir en tirer. Je me hâte de revenir à l'eau distribuée, en 1859, aux habitants de Batignolles.

Après avoir constaté la position de la prise d'eau d'Asnières, la couleur et l'aspect de l'eau qui y était puisée, j'ai dû examiner chimiquement trois échantillons d'eau recueillie, d'après mes indications, par les soins de M. le maire de Batignolles, le 7 juin 1859, à neuf heures du matin; le premier, n° 1, dans la Seine, au-dessus de la bouche du tuyau aspirateur de la prise d'Asnières; le second, n° 2, en plein courant, sur la même ligne perpendiculaire au cours du fleuve que cette prise; le dernier, n° 3, sous le filtre du réservoir de Clichy. Voici le résultat de mes expériences :

NUMÉROS.	ÉCHANTILLONS.	RÉSIDU SEC, à 100° pour 1 litre.	AMMONIAQUE pour 1 litre.
1	Eau recueillie à la prise d'Asnières.	0gr.217	0gr.00513 cent. de milligr.
2	Eau recueillie en plein courant, sur la ligne de la prise......	0gr.164	0gr.00028 cent. de milligr.
3	Eau recueillie sous le filtre du réservoir de Clichy.........	0gr.200	0gr.00081 cent. de milligr.

En comparant ces chiffres, on voit que la proportion des matières fixes était notablement plus forte dans l'eau de la Seine, à la prise d'Asnières, que dans l'eau recueillie au même moment en plein courant, et que les proportions d'ammoniaque contenues dans ces eaux étaient dans le rapport de 513 centièmes de milligramme à 28, c'est-à-dire de 18 à 1.

Cette différence accusait l'énorme quantité des matières organiques en fermentation qui se trouvait dans l'eau de la Seine, à la prise d'Asnières, et ne laissait aucun doute sur la légitimité des plaintes du maire de Batignolles.

L'eau recueillie au-dessous du filtre du réservoir de Clichy ne donnait, il est vrai, que 81 centièmes de milligramme d'ammoniaque, au lieu de 513 observés dans l'eau recueillie à la prise d'Asnières, où elle avait été puisée par la machine; mais il ne faut pas se faire illusion sur la valeur de ce fait, car il ne peut s'expliquer que par les propriétés absorbantes des matières terreuses déposées sur les filtres de Clichy et qui devaient arrêter en grande partie l'ammoniaque au passage; et, s'il prouve que le filtrage peut dépouiller en partie les eaux de leur ammoniaque, qui est inoffensive, il ne démontre pas que la matière organique en voie de décomposition, qui est la véritable cause de leur insalubrité, s'y trouve réduite dans ses proportions, et que cette insalubrité soit atténuée.

La conséquence de ces observations était facile à déduire.

Le tube aspirateur de la prise d'eau d'Asnières s'ouvrant en aval de l'égout collecteur et dans une situation telle qu'il puisait dans un mélange d'eau de Seine et des déjections de cet égout, et l'insalubrité de l'eau fournie par ce tube aspirateur aux réservoirs d'Asnières et ensuite aux habitants de Batignolles étant surabondamment démontrée par la proportion des matières fixes et de l'ammoniaque qu'elle contenait, il fallait se hâter de transporter la prise d'eau dans une autre partie du fleuve où elle serait à l'abri des influences de l'égout, c'est-à-dire prolonger le tuyau de prise jusqu'en plein courant au milieu du fleuve où, d'après mes expériences, l'influence de l'égout ne se faisait plus notablement sentir. Telle a été, en effet, Monsieur le Préfet, la conclusion de mon rapport du 10 juin 1859; tel a été l'avis que le conseil vous a exprimé, qu'il a recommandé à votre sollicitude, et en vertu duquel vous avez, par une lettre datée du

11 juillet 1859, fait connaître à M. le maire de Batignolles qu'il lui appartenait d'agir par les voies de droit contre la Compagnie générale des eaux pour l'obliger à transporter au milieu du fleuve la prise d'eau d'Asnières.

Sur les injonctions du maire, la Compagnie des eaux a fermé cette prise au lieu de la déplacer, et s'est mise en mesure de desservir la population de Batignolles avec les eaux de la prise de Saint-Ouen, située à près de 3 kilomètres au-dessous de l'embouchure de l'égout collecteur, et qui alimentait déjà les communes de Montmartre et de la Chapelle. Mais ce n'était, comme vous le reconnaîtrez tout à l'heure, donner qu'une satisfaction bien incomplète aux justes réclamations du maire de Batignolles.

Aussi, dès le mois d'août suivant, cet honorable magistrat vous adressait de nouvelles doléances et sollicitait un nouvel examen des eaux fournies à la commune. Appelé à donner mon avis sur cette seconde réclamation, j'ai déclaré que, bien que la prise d'eau de Saint-Ouen se trouvât plus éloignée de l'égout collecteur que celle d'Asnières, elle en était encore beaucoup trop rapprochée pour pouvoir puiser dans la Seine des eaux salubres, que, d'après mes expériences, de nouvelles recherches scientifiques n'étaient pas nécessaires pour démontrer un fait aussi évident, et que le seul moyen de fournir des eaux potables de bonne qualité aux habitants de Batignolles, c'était de prendre ces eaux en plein courant, comme l'avait proposé le conseil.

Les choses restèrent dans cet état pendant l'automne de 1859 et l'hiver de 1860; l'élévation naturelle des eaux à ces deux époques devait, en effet, atténuer la fâcheuse influence de l'égout et suspendre les réclamations. Mais, dès le 1er juillet 1860, le commissaire de police de Clignancourt vous signalait les plaintes nombreuses des habitants de sa circonscription.

Chargé par le Conseil de l'examen de cette question qui intéressait les trois anciennes communes de Batignolles, Montmartre et la Chapelle, récemment annexées à Paris, j'ai procédé à son étude d'après les principes qui m'avaient guidé l'année précédente, et que j'ai exposés au commencement de ce rapport.

J'ai constaté d'abord que les prises d'eau, dites de Saint-Ouen, qui alimentaient les réservoirs de Montmartre, se trouvaient ouvertes à 12 mètres seulement de l'étiage, c'est-à-dire du point où

les eaux les plus basses baignent la rive droite, et que la Seine, avant d'y arriver, avait reçu non-seulement le grand égout collecteur, mais aussi l'égout de Clichy. J'ai remarqué en outre que les deux îles d'Asnières qui partagent la Seine en trois bras, à une assez faible distance du premier de ces égouts, retenaient ces déjections dans la partie droite du fleuve, et les empêchaient de se mélanger avec la masse totale de ses eaux, de telle sorte qu'il était facile, à plus d'un kilomètre au-dessous des égouts, de reconnaître la couleur et l'aspect caractéristiques de leurs produits, jusqu'à une assez grande distance de la rive. Aussi, malgré l'intervalle de trois kilomètres qui séparait la prise d'eau de ces égouts, il était évident que leur influence devait s'y faire fortement sentir. Pour apprécier cette influence, j'ai institué un certain nombre d'expériences destinées à déterminer les proportions d'ammoniaque contenues dans l'eau de la Seine, à divers points de son cours, entre le pont d'Asnières et de Saint-Ouen, de manière à les comparer à celles qui se trouvaient dans l'eau prise sur la rive droite à Saint-Ouen, au-dessus de la bouche du tuyau aspirateur des réservoirs de Montmartre. Toutes ces expériences ont été exécutées sur des échantillons que j'avais recueillis moi-même, le 3 août 1860, de midi à deux heures, et elles m'ont fourni les résultats consignés dans le tableau suivant :

Expériences du 3 août 1860.

ÉCHANTILLONS.	AMMONIAQUE pour 1 litre d'eau.
Eau recueillie en plein courant au pont d'Asnières.....	0gr·00003cent· de milligr.
Eau recueillie à 3 kilomètres en aval du pont d'Asnières, sur la ligne de l'ancienne prise d'eau de Saint-Ouen, à 12 mètres de l'étiage (rive gauche)..............	0gr·00004cent· de milligr.
Eau recueillie en plein courant sur la ligne de l'ancienne prise d'eau de Saint-Ouen......................	0gr·00067cent· de milligr.
Eau recueillie au-dessus du tuyau de l'ancienne prise de Saint-Ouen, à 12 mètres de l'étiage (rive droite).....	0gr·00270cent· de milligr.

Les résultats de ces expériences faites dans des conditions identiques et consignées dans le tableau qui précède, m'ont démontré que l'eau de la Seine prise en plein courant au pont d'Asnières, en amont de l'égout, ne contenait que 3 centièmes de milligramme, c'est-à-dire des traces d'ammoniaque; qu'elle conservait sa pureté sur la rive gauche où, depuis sa sortie de Paris, elle ne recevait pas de déjections abondantes; que sur cette rive, et à une assez grande distance de la berge, elle échappait complétement, jusqu'à Saint-Ouen et au delà, à l'influence de l'égout collecteur et de l'égout de Clichy; mais que cette influence se faisait fortement sentir sur la rive droite, à la prise d'eau de Saint-Ouen, et s'étendait même jusqu'au milieu du courant sur la ligne de cette prise; qu'en conséquence, les plaintes des habitants du 18e arrondissement n'étaient que trop fondées, et que, pour leur donner satisfaction et leur fournir une eau pure et salubre, il fallait déplacer les prises d'eau de Saint-Ouen et les reporter sur la rive gauche de la Seine, hors de la portée des égouts. Telles étaient les conclusions de mon rapport qui a été l'objet de l'approbation unanime des membres du conseil de salubrité, dans la séance du 17 août 1860, et qui vous a été immédiatement adressé.

Le 25 septembre, injonction a été faite par vos ordres à la Compagnie générale des eaux de transporter la prise d'eau de Saint-Ouen sur la rive gauche de la Seine, et avis en a été donné à M. le maire du 18e arrondissement. Cette mesure n'ayant pas été exécutée, et la ville de Paris s'étant substituée à la Compagnie des eaux; le 23 février 1861, vous avez signalé à votre collègue, M. le Préfet de la Seine, la nécessité de pourvoir au déplacement de la prise d'eau de Saint-Ouen. Ce déplacement a été achevé le 25 mai dernier, et la prise d'eau de Saint-Ouen installée, depuis cette époque, dans la situation indiquée par le rapport du Conseil de Salubrité, fournit aux habitants des 17e et 18e arrondissements, c'est-à-dire des communes de Batignolles, Montmartre et la Chapelle, une eau pure et salubre, surtout si on la compare à celle qu'ils recevaient précédemment.

C'est là un hommage rendu à l'autorité des avis du Conseil de Salubrité et un résultat dont il aurait lieu de s'applaudir sans réserve, si le 1er mai, au moment même ou le déplacement de la prise d'eau de Saint-Ouen était en voie d'exécution, il n'avait

paru au *Moniteur* un article dans lequel l'administration municipale, s'appuyant sur les résultats de deux analyses exécutées à l'École des ponts et chaussées, l'une sur l'eau du réservoir du passage Cottin, à Montmartre, l'autre sur l'eau des réservoirs de Passy, n'avait tiré de ces résultats les conclusions suivantes que je reproduis textuellement.

« Il ressort avec évidence de ces analyses, que la qualité de l'eau puisée en Seine par la machine de Saint-Ouen ne subit aucune influence appréciable des déjections de l'égout d'Asnières. S'il est vrai, comme on le soutient, que ces déjections forment un courant, qui suive la berge du fleuve, qui soit reconnaissable à Saint-Ouen et même au-dessous, il faut admettre forcément que ce courant passe entre la rive et l'extrémité du tuyau d'aspiration de la machine; car, s'il en était autrement, les eaux de Montmartre contiendraient plus d'acide nitrique et d'ammoniaque que celles de Chaillot, tandis que c'est le contraire qu'on a constaté pour les deux échantillons analysés.

« Les craintes qu'on cherche à jeter dans l'esprit des populations de Montmartre et de Batignolles sont donc complétement chimériques; mais comme l'administration municipale doit tenir compte, en pareille matière, même des répugnances les moins fondées, elle s'occupe en ce moment de faire poser une nouvelle conduite d'aspiration dont la fabrication a été commandée aux usines le 26 mars dernier, et qui puisera l'eau à une telle distance de la berge qu'aucun soupçon de mélange fâcheux ne sera plus possible. »

Ému de cette affirmation, si absolument contraire aux expériences et aux avis de votre Conseil de Salubrité, au sujet d'une question qui intéresse à un si haut degré la grande cité dont il a mission de sauvegarder les intérêts hygiéniques, vous avez compris qu'il importait de faire cesser une contradiction aussi formelle, et vous m'avez demandé de reprendre l'examen de cette affaire sur laquelle vous désiriez connaître, le plus promptement possible, l'avis du Conseil.

Pour répondre à votre confiance, monsieur le Préfet, et ne laisser aucun doute sur la question en litige, j'ai dû étudier l'eau de la Seine prise sur plusieurs points de son cours, au fond et à la surface, en amont et en aval de Paris, et dans les réservoirs où elle est recueillie pour être distribuée aux consommateurs.

Je ne me suis pas borné d'ailleurs à doser l'ammoniaque contenue dans ces eaux, j'y ai cherché les proportions des nitrates en dosant l'acide nitrique au moyen du procédé si délicat et si sûr que M. Boussingault a donné à la science, j'ai déterminé leurs degrés hydrotimétriques; et, pour plusieurs échantillons, j'ai constaté le poids des matières fixes, le poids des matières organiques et même la proportion des gaz qui s'y trouvaient en dissolution.

Les résultats de mes expériences, réunis méthodiquement dans le tableau ci-joint[1], conduisent à des conséquences que je dois vous signaler avec tous les développements que réclame leur importance.

Pour résoudre la question dont vous avez bien voulu me confier l'examen, il ne s'agissait pas seulement de reconnaître si les anciennes prises d'Asnières et de Saint-Ouen étaient bien ou mal placées, et s'il y avait un avantage réel à les avoir transportées au point indiqué par le Conseil de Salubrité; il fallait aussi déterminer quelle était l'influence des égouts sur l'eau de la Seine, à divers points de son cours, particulièrement là où sont établies les prises qui alimentent Paris; il fallait examiner si ces prises pourraient être placées dans des conditions plus favorables, et enfin constater quel était le degré de pureté et de salubrité des eaux de la Seine et de la Marne, considérées isolément, avant leur réunion, avant qu'elles aient pénétré dans l'enceinte de Paris et subi l'influence des nombreuses causes d'altération qu'elles y rencontrent.

L'étude de la question ainsi posée, ainsi généralisée, était seule digne de votre administration, monsieur le Préfet; elle était, d'ailleurs, la conséquence naturelle du conflit d'opinions contradictoires survenues entre l'administration municipale et le Conseil de Salubrité; elle promettait des résultats d'un grand intérêt pour le service des eaux de Paris; c'était un devoir pour le Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine et de la capitale de l'Empire, d'envisager à ce point de vue supérieur la mission que vous lui avez confiée, et de faire sortir d'une discussion incidente des renseignements devenus nécessaires, si l'on veut établir un aménagement rationnel et

1. Voir le tableau à la suite du rapport.

digne de notre époque des richesses hydrologiques dont le département et la capitale peuvent disposer.

Le tableau où j'ai consigné le résultat de mes expériences et rappelé des faits antérieurement acquis à la science, a été disposé de manière à présenter d'abord la composition des eaux pures de la Seine et de la Marne, et, à la suite, celle des eaux de la Seine et de la Marne réunies et prises en divers points de leur cours, depuis le pont d'Austerlitz jusqu'à la prise de Saint-Ouen. J'aurais voulu faire connaître l'état de l'eau contenue dans tous les réservoirs qui fournissent de l'eau de Seine à la ville de Paris; mais le 25 mai, lorsque j'ai recueilli mes échantillons en Seine, le réservoir de la rue Cottin, à Montmartre, contenait un mélange des eaux fournies par l'ancienne prise et par la nouvelle qui fonctionnait depuis le matin, et les trois réservoirs de Passy ne pouvaient, à cause du récent chômage de la machine, me donner qu'une eau très-ancienne, ou que l'eau nouvelle qui, traversant les tuyaux après une longue interruption du service, arrivait toute trouble à l'orifice du réservoir. Il n'était pas possible évidemment de comparer ces eaux à celles que je recueillais au même moment dans la Seine. Au reste, on ne doit attacher qu'une importance très-secondaire à l'eau des réservoirs, comme élément de la discussion actuelle, car le contenu de ces réservoirs étant toujours un mélange d'eaux plus ou moins anciennes et placées dans des conditions tout autres que celles où elles se trouvent dans le fleuve, il ne peut être légitimement comparé à l'eau puisée dans la Seine, à un moment donné, à la prise qui alimente ces mêmes réservoirs. D'ailleurs, il ne s'agissait pas, dans l'espèce, de savoir comment les eaux de la Seine se conservent dans les réservoirs, si les dispositions de ces réservoirs sont plus ou moins favorables à leur salubrité; c'est là une question spéciale qui, tout importante qu'elle est, n'est pas comprise dans mon programme; mais il s'agissait d'apprécier la qualité et la salubrité des eaux puisées dans la Seine en divers points pour remplir ces réservoirs; car enfin, et là est toute la question, la qualité de l'eau dans les réservoirs est la conséquence nécessaire de la qualité de l'eau qui leur est fournie par la Seine, et plus l'eau qui est puisée dans la Seine sera pure et salubre, plus sera pure et salubre aussi celle qu'ils fourniront aux consommateurs.

Au reste, l'examen des échantillons que j'ai recueillis aux bassins de Passy et dans le réservoir du château, à Montmartre, suffit pour donner une idée des rapports qui existent entre l'eau de la Seine et l'eau des réservoirs correspondants.

Si, après ces observations préliminaires, j'examine dans leur ensemble et dans leurs relations les résultats de mes expériences, l'analyse et la discussion de ces résultats me conduisent à des conclusions très-importantes sur lesquelles je dois, monsieur le Préfet, appeler toute votre attention.

Les eaux de la Marne et de la Seine, considérées, soit isolément, soit après leur réunion et leur passage à travers Paris, ont été l'objet des recherches d'un grand nombre de savants chimistes, parmi lesquels il est juste de signaler Parmentier, dont les observations remontent à 1775, Thénard et Collin, Vauquelin et Bouchardat, MM. Boutron et Henry, Sainte-Claire-Deville, Boussingault, Péligot, Boutron et Boudet, Poggiale, etc. Ces recherches importantes ont parfaitement établi la nature et les proportions des substances minérales en dissolution dans les eaux de la Marne et de la Seine; mais elles ont été exécutées dans des conditions variées, par des procédés et à des points de vue différents, et il suit de ces circonstances que leurs résultats ne pouvaient pas me fournir des termes suffisants pour la comparaison que j'avais à établir au point de vue spécial de la salubrité, entre les eaux de la Seine observées au même moment, à différentes stations, en aval et en amont de Paris, et dans l'enceinte même de la ville. J'ai dû, en conséquence, choisir parmi ces résultats ceux qui se rattachaient le plus directement à la question que j'avais à résoudre et instituer de nouvelles expériences. Je rappellerai toutefois, qu'envisagées dans leur ensemble, ces recherches démontrent que les eaux de la Seine, au pont d'Ivry, avant sa jonction avec la Marne, sont d'une très-bonne qualité; que les eaux de la Marne sont plus chargées de matières fixes que celles de la Seine, et qu'en aval de Paris, les eaux de la Seine et de la Marne, réunies, contiennent une proportion plus considérable de substances minérales, des traces plus sensibles de nitrates alcalins et de matières organiques que l'eau de la Seine au pont d'Ivry.

Ayant à examiner les eaux de la Seine au point de vue de la salubrité, dont la mesure la plus exacte est donnée par les pro-

portions d'ammoniaque, et à comparer l'eau de la Seine primitive, au pont d'Ivry, avec celle des diverses prises établies en aval de Paris pour fournir à la consommation de la capitale, j'ai attaché une importance particulière aux résultats des nombreuses analyses auxquelles M. Poggiale a soumis l'eau de la Seine prise au pont d'Ivry, à différentes époques, et dans lesquelles il a dosé l'ammoniaque par le procédé de M. Boussingault. J'ai dû aussi, et c'est une circonstance qui réclamait toute mon attention, opérer par des procédés rapides et identiques sur des échantillons recueillis simultanément, pour ainsi dire, le même jour et presque à la même heure, dans les mêmes conditions, de manière à obtenir des résultats réellement comparables.

L'eau de la Marne au pont du chemin de fer, à la Bosse de Marne, ne contient que des traces d'ammoniaque; le 17 mai, la proportion de cet alcali s'est trouvée assez faible pour échapper à l'analyse; le 26, elle était de 7 centièmes de milligramme *au fond et à la surface :* c'est une moyenne de 5 centièmes de milligramme par litre d'eau pour trois expériences.

La proportion d'acide nitrique dans la Marne, à Charenton, a été observée par M. Boussingault, qui l'a trouvée égale à 5 milligrammes et demi; la seule expérience que j'ai faite m'a donné 4 milligrammes 136, qui représentent 7 milligrammes 74 de nitrate de potasse. Il semble que l'eau de la Marne soit moins chargée d'ammoniaque et de nitrate que l'eau de la Seine, si l'on en juge par ces chiffres; mais les expériences dont ils sont déduits sont trop peu nombreuses pour autoriser une conclusion définitive. Quant aux matières fixes, la proportion indiquée sur le tableau est d'accord avec les résultats d'anciennes analyses qui ont démontré que l'eau de la Marne contient plus de matières fixes que l'eau de la Seine.

Le poids des matières organiques a été recherché en incinérant le résidu de l'évaporation de l'eau, desséché à 110 degrés, reprenant les cendres par le carbonate d'ammoniaque pour régénérer les carbonates que la calcination aurait détruits, desséchant de nouveau à 110 degrés, et déterminant la différence entre le poids de ce nouveau résidu et celui du résidu primitif. Cette différence, qui devait représenter les substances organiques, s'est trouvée de 0 gramme 060 milligrammes pour l'eau de la

surface, et de 0 gramme 065 milligrammes pour l'eau puisée au fond de la rivière.

L'eau de la Seine, au pont d'Ivry, a été de la part de M. Poggiale l'objet de onze analyses exécutées à diverses époques, en 1852, 1853 et 1854.

Les proportions d'ammoniaque qu'il a observées sont comprises entre 8 centièmes et 37 centièmes de milligramme, et représentent 17 centièmes de milligramme en moyenne brute, et sans tenir compte de cette circonstance que les expériences qui ont donné les chiffres élevés sont beaucoup moins nombreuses que celles qui ont donné les chiffres les plus faibles. Cette moyenne est évidemment exagérée. Aussi s'éloigne-t-elle de celle que j'ai observée en mai et en juin et qui est représentée par 8 centièmes de milligramme.

Pour les matières fixes, dont la moyenne est 241 milligrammes et le minimum 190, d'après M. Poggiale, j'ai trouvé 220 et 228 milligrammes.

J'ai reconnu une assez forte quantité de nitrates dans l'eau de la Seine, au pont d'Ivry. Est-ce un fait accidentel ou constant? C'est ce que des expériences multipliées peuvent seules décider.

Quant à la proportion des matières organiques, elle n'a pas dépassé 4 centigrammes par litre dans une expérience que j'ai faite avec de l'eau recueillie le 18 juin, au moment où la Seine était à 8 centimètres seulement au-dessus de l'étiage, c'est-à-dire dans des conditions défavorables.

En comparant les résultats consignés sur le tableau pour la Seine au pont d'Ivry et la Marne à Charenton, on voit que l'eau de la Seine est beaucoup moins chargée de matières minérales et organiques que l'eau de la Marne.

La composition de l'atmosphère des eaux potables, c'est-à-dire des gaz qu'elles tiennent en dissolution, mérite une attention toute particulière au point de vue de leur salubrité. Cette atmosphère, en effet, est formée d'acide carbonique, d'oxygène et d'azote, et les proportions relatives de ces gaz doivent varier en raison de la présence dans l'eau d'une quantité plus ou moins considérable de matières organiques, en voie de fermentation, qui absorbent l'oxygène et font prédominer l'azote, de telle sorte que la diminution d'oxygène dans l'eau peut être considérée comme un indice de son insalubrité.

Gay-Lussac et de Humboldt ont trouvé que l'eau de la Seine contient l'oxygène et l'azote dans les proportions de 32 d'oxygène pour 68 d'azote. Ce rapport est à peu près constant pour les eaux courantes et conforme à la solubilité de chacun de ces gaz. Or, M. Poggiale ayant reconnu qu'il existe en moyenne, par litre, dans l'eau de la Seine, à Ivry, 23 centimètres cubes d'acide carbonique libre, ou provenant des bi-carbonates, plus un air composé de 9 centimètres cubes d'oxygène et 20 d'azote, soit pour 100 parties de 31 d'oxygène et 69 d'azote, ce résultat témoigne évidemment en faveur de la salubrité de cette eau.

Les matières tenues en suspension dans l'eau de la Seine ont été déterminées par MM. Boutron et Boudet en 1854, et en 1856 par M. Poggiale. D'après les recherches de ces chimistes, le maximum des matières en suspension dans l'eau de la Seine, en plein courant, au pont d'Ivry, ne dépasserait pas 0g118 à 0g120 milligrammes par litre, et dans les temps les plus secs. Cette proportion se réduirait à 0g007 milligrammes, selon les observations de M. Poggiale, qui a reconnu d'ailleurs que ces matières étaient composées en moyenne de :

Carbonate de chaux et de magnésie. . . .	60 31
Acide silicique.	35 60
Matières organiques.	3 39
	99 30

M. Poggiale a publié des observations intéressantes sur la composition de l'eau de la Seine au pont d'Austerlitz. Il a constaté qu'elle était beaucoup plus chargée d'ammoniaque et de matières fixes sur la rive gauche, qui a reçu l'affluent de la Bièvre[1] que sur la rive droite, à tel point que la moyenne de trois expériences a donné pour la rive gauche :

Ammoniaque, 135 centièmes de milligramme;
Matières fixes, 294 milligrammes.

Et pour la rive droite :

Ammoniaque, 20 centièmes de milligramme;
Matières fixes, 247 milligrammes.

1. M. Boussingault a trouvé 262 centièmes de milligramme d'ammoniaque dans l'eau de la Bièvr au Pont-aux-Tripes.

La prise d'eau de Chaillot se trouve au-dessous de l'agglomération parisienne, et la Seine, avant d'y arriver, a subi l'influence de son passage à travers la ville; mais il faut remarquer que depuis l'établissement du grand égout collecteur, cette influence doit être notablement atténuée pour la partie droite du fleuve, qui n'est plus souillée par aucun égout considérable, et qui, d'ailleurs, ne reçoit pas directement l'influence infecte de la Bièvre.

La proportion moyenne d'ammoniaque fournie par les échantillons que j'ai recueillis, au fond et à la surface, à la prise de Chaillot, a été de 27 centièmes de milligramme; celle des nitrates, de 13 milligrammes 70, et celle des matières fixes, de 0gr250.

Ces résultats signalent une différence réelle entre la composition de l'eau de Seine à Ivry et à l'estacade de Chaillot. Cette différence, il est vrai, n'est pas très-considérable, et montre que le lieu de prise a été heureusement choisi dans la partie droite du fleuve. Plus à gauche, en effet, la proportion d'ammoniaque est plus forte, car elle s'élève à 29 centièmes 1/2 de milligramme; or, il en devait être ainsi, puisque la Marne, qui contient peu d'ammoniaque, porte plus particulièrement ses eaux à droite, puisque la Bièvre se verse dans la Seine, à gauche, et l'altère profondément.

La prise d'eau de Neuilly a été établie dans le petit bras de la Seine compris entre la première île en aval du pont de Neuilly et la berge droite du fleuve; elle s'ouvre à 40 mètres environ de l'étiage et alimente les bassins de Passy concurremment avec la prise de Chaillot.

L'égout de Neuilly verse ses déjections dans la Seine à 15 mètres en amont de cette prise d'eau; mais ces déjections sont peu abondantes, et le tuyau de prise est assez avancé dans la Seine pour être à l'abri de leur influence.

L'eau recueillie au-dessus de l'ouverture de cette prise contenait 28 centièmes de milligramme d'ammoniaque, une quantité assez faible de nitrates, 9 milligrammes 1/2, et un chiffre moyen de matières fixes, 0gr241 milligrammes.

Ces proportions sont peu différentes de celles que j'ai observées dans les eaux recueillies à l'estacade de Chaillot, au bec du tuyau qui alimente les bassins de Passy et au robinet du tuyau de distribution de ces bassins. A ne considérer que l'ammonia-

que, on en trouve, en effet, 25 centièmes de milligramme pour l'ensemble de ces eaux.

L'eau recueillie à la bouche du tuyau qui verse l'eau de l'estacade de Chaillot dans les bassins de la rue Villejust, à Passy, m'a fourni plus d'ammoniaque et de matières fixes que celle que j'ai prise une heure plus tard dans la Seine elle-même, à la partie extérieure de ce même tuyau, au point où il s'ouvre dans la Seine. La différence est sensible, et montre que, d'un moment à l'autre, l'eau de la Seine peut présenter de notables variations qui correspondent, sans aucun doute, aux incidents qui doivent se produire aux diverses heures de la journée, pendant qu'elle traverse Paris. Ces différences, toutefois, se trouvent comprises entre des termes extrêmes qui ne sont pas très-éloignés.

La nouvelle prise de Saint-Ouen a été, sur l'avis du Conseil de Salubrité, transportée sur la rive gauche, hors de l'influence des égouts d'Asnières et de Clichy qui altèrent l'eau du fleuve jusqu'au delà de la ligne médiane, ainsi que l'ont démontré mes expériences du 3 août 1860.

L'examen chimique de l'eau recueillie à la nouvelle prise justifie le choix de sa position. En effet, deux échantillons d'eau recueillie le 17 mai au drapeau indicateur de la nouvelle prise, l'un à la surface, l'autre au fond du fleuve, précisément dans la couche où s'ouvre l'embouchure du nouveau tuyau aspirateur, m'ont donné : le premier, 21 centièmes de milligramme d'ammoniaque; le second, 6 centièmes de milligramme d'ammoniaque et 10 milligrammes de nitrate, tandis qu'au même moment, l'eau recueillie à la surface et au fond de la Seine, à l'ancienne prise placée sur la même ligne perpendiculaire au fleuve, me fournissait pour la surface 226 centièmes de milligramme d'ammoniaque avec 15 milligrammes de nitrate, et pour le fond 228 centièmes de milligramme d'ammoniaque avec 14 milligrammes 1/2 de nitrate et des proportions considérables de matières fixes. Le 25 mai, il est vrai, je trouvais dans l'eau de l'ancienne prise 178 centièmes de milligramme, et dans l'eau du réservoir du château, à Montmartre, 232 centièmes de milligramme d'ammoniaque, au moment où j'en trouvais 33 centièmes de milligramme dans l'eau de la nouvelle prise. C'est là une différence moindre sans doute que celle que j'avais observée le 17; mais, en prenant les moyennes de ces diverses observations, on n'en arrive pas

moins à ce résultat remarquable et tout à fait concluant, que la moyenne de l'ammoniaque dans l'eau de la Seine à la nouvelle prise est de 20 centièmes de milligramme, tandis qu'elle s'élève à 230 centièmes de milligrammes, c'est-à-dire à une proportion onze fois plus grande dans l'eau recueillie au-dessus de l'ancienne prise.

Un autre fait qui démontre d'une manière non moins décisive l'insalubrité de l'eau à l'ancienne prise, c'est que, le 17 mai, l'échantillon recueilli à cette station a donné 72 milligrammes de matières organiques et un air qui ne contenait que 22 0/0 d'oxygène, au lieu de 29,3 que j'ai observés le même jour à 20 mètres de la rive gauche, sur la même ligne du fleuve, et au lieu de 31 qui représente la moyenne au pont d'Ivry. L'eau de l'ancienne prise de Saint-Ouen était donc tout à la fois très-chargée de matières organiques et d'ammoniaque et dépouillée d'une grande partie de son oxygène. Au lieu de contenir 9 centimètres cubes d'oxygène par litre, elle n'en contient que 4 centimètres cubes.

Je dois vous faire remarquer d'ailleurs, monsieur le Préfet, que l'eau prise le 17 mai à la surface du fleuve, à 20 mètres seulement de la berge gauche, sur la ligne de l'ancienne et de la nouvelle prise de Saint-Ouen, m'a donné 46 centièmes de milligramme d'ammoniaque, au lieu de 21 que contenait au même moment l'eau recueillie à la surface auprès du drapeau indicateur de la prise nouvelle, à 40 mètres de la berge.

Tous ces faits justifient de la manière la plus péremptoire l'opinion exprimée dans mes rapports de 1859 et 1860, et formellement adoptée par le Conseil, sur l'insalubrité des eaux puisées dans la Seine, sur la rive droite, à Asnières et à Saint-Ouen, en aval de l'égout collecteur, et le choix de la position indiquée pour l'établissement de la nouvelle prise. Ils prouvent qu'en ce point l'eau de la Seine est également à l'abri de l'influence des causes d'altération qu'elle rencontre à droite et à gauche de son cours, et que, malgré les conditions défavorables auxquelles elle a été soumise en traversant la capitale, elle offre encore une eau assez pure pour n'inspirer aux consommateurs aucune répugnance ni aucune inquiétude fondée, au point de vue de la qualité et de la salubrité.

Ainsi, monsieur le Préfet, il est hors de doute que les déjec-

tions des égouts d'Asnières et de Clichy altèrent profondément l'eau de la Seine, la rendent insalubre, et que cette altération, tout en s'atténuant, à mesure qu'on l'observe plus loin de ces sources infectes, s'étend en long et en large à une très-grande distance de son point d'origine.

Pouvait-il en être autrement, monsieur le Préfet? et pour peu qu'on voulût, abstraction faite des enseignements de l'analyse chimique, observer sur les lieux l'état des choses, pouvait-on imaginer qu'une eau sur laquelle flottent sans cesse les corps légers entraînés par les égouts, dont la couleur et le trouble signalent la présence de leurs déjections, et qui coule, ainsi que je l'ai constaté, sur un lit de vase colorée, infecte, et formée en grande partie de sédiments fournis par ces déjections, pût se trouver dans des conditions convenables de salubrité?

La logique des faits, l'observation directe, l'analyse chimique, tout s'accorde donc avec les avis émis par le Conseil de Salubrité, dans ses rapports de 1859 et 1860; et si des analyses ont pu fournir des résultats en contradiction avec ces avis, il faut admettre que ces analyses n'ont pas été faites dans des conditions qui autorisent à en tirer de légitimes et valables conclusions.

L'administration municipale a cité, dans le *Moniteur* du 1er mai les résultats de deux analyses qu'elle a fait exécuter à l'École des ponts et chaussées, sur deux échantillons d'eau provenant, l'un, des réservoirs de Passy qui sont alimentés par les machines de Chaillot; l'autre, du réservoir situé à Montmartre, passage Cottin.

« Il ressort avec évidence de ces analyses, dit le *Moniteur*, que la qualité de l'eau puisée en Seine par la machine de Saint-Ouen ne subit aucune influence appréciable des déjections de l'égout d'Asnières, etc. . . . .
. . . . »

Telles sont les expressions textuelles du *Moniteur;* telles sont les conclusions qu'il a tirées des analyses de l'École des ponts et chaussées, sans tenir compte des observations et des sages réserves dont l'honorable M. Hervé Mangon, auteur de ces analyses, a cru devoir accompagner l'énoncé de leurs résultats, observations et réserves qui étaient loin d'autoriser les conclusions du *Moniteur*. Il vous sera facile, monsieur le Préfet, de reconnaître ce fait, en comparant à la note du *Moniteur* la note de M. Hervé

Mangon, dont j'ai l'honneur de vous mettre sous les yeux une copie authentique, extraite du registre des essais de l'École et dûment certifiée par M. l'inspecteur.

EXTRAIT DU REGISTRE DES ESSAIS.

Deux échantillons d'eaux potables remis au nom de M. Belgrand, ingénieur en chef des ponts et chaussées, comme provenant des réservoirs de Passy et de Montmartre.

« Les tourilles vides destinées à recevoir ces échantillons ont été remises à l'employé envoyé par M. Belgrand le 12 avril, à une heure un quart. Les tourilles remplies d'eau ont été rapportées au laboratoire le même jour à trois heures et demie. Ces deux échantillons tenaient en suspension de légers flocons bruns composés principalement de matières organiques. Ces flocons étaient beaucoup plus abondants et plus volumineux dans l'eau des tourilles portant pour étiquette : *Montmartre, passage Cottin, n° 3*, que dans les tourilles portant pour étiquette : *Passy, réservoir de la rue Villejust.*

« Ces eaux avaient la très-légère odeur que présentent trop souvent les eaux de Paris. Je n'ai pas pu cependant les distinguer l'une de l'autre à l'odorat. La saveur des deux eaux était très-différente. Après une dégustation attentive, j'ai pu nommer l'eau que l'on me présentait sans me dire son origine. La même expérience, répétée plusieurs fois par trois personnes présentes au laboratoire, a toujours réussi. La plus désagréable était celle de la tourille étiquetée : *Montmartre.*

« L'analyse des gaz tenus en dissolution dans ces eaux a donné pour leur volume ramené à 0° sous $0^{m}760$ de pression :

	PASSY.	MONTMARTRE.
	m. c.	m. c.
Acide carbonique	12 2	14 2
Oxygène	6 5	4 5
Azote	15 8	15 9
Volume total en centimètres cubes de gaz dissous par litre d'eau	34 5	34 6

L'analyse des matières solides contenues dans les eaux, faite avec beaucoup de soin et répétée pour la plupart des éléments dosées, a donné :

	PASSY.	MONTMARTRE.
	grammes.	grammes.
Résidu argilo-siliceux insoluble dans les acides	0.014	0.016
Alumine et peroxyde de fer	0.006	0.019
Chaux	0.107	0.104
Magnésie	0.008	0.009
Alcalis	0.011	0.010
Chlore	0.006	0.004
Acide sulfurique	0.051	0.018
Eau combinée et matières organiques	0.019	0.023
Acide carbonique et matières non dosées	0.077	0.070
Poids total des matières solides par litre	0,299	0.303
Ammoniaque	0.0006	0.0003

« L'acide nitrique existe dans ces deux eaux en quantité assez considérable. Il m'a paru plus abondant dans l'eau intitulée *Passy* que dans l'autre. Le dosage n'a pas été fait avec assez de précision pour que je reproduise les chiffres obtenus.

« Les gaz dissous présentent une très-notable différence; les autres éléments sont en proportions à peu près semblables dans les deux eaux. On fera remarquer, d'ailleurs, qu'il est impossible de tirer aucune conclusion de ces deux analyses. Les différences de poids des éléments les plus importants à considérer sont en effet comprises dans les limites des variations de consti-

tution des eaux de rivières d'un jour aux jours suivants. Pour arriver à une conclusion un peu précise, il faudrait puiser l'eau, non pas dans les réservoirs, mais dans la Seine elle-même, et cela à deux instants séparés par le temps nécessaire à l'eau pour arriver du point situé en amont au point situé en aval.

« N'est-il pas évident, en effet, *a priori*, que l'eau de la Seine en aval de l'égout d'Asnières doit contenir plus d'ammoniaque, en moyenne, que l'eau puisée en amont? L'essai donnant ici un résultat précisément inverse, on ne peut s'empêcher de reconnaître la nécessité d'expériences faites sur des échantillons recueillis dans des circonstances plus comparables.

« Paris, le 25 avril 1861.

« HERVÉ MANGON.

« Pour copie conforme :

« Vu par l'inspecteur de l'École :

« *L'inspecteur de l'École*,

« CAVALIER. »

Ainsi, Monsieur le Préfet, tandis que M. Hervé Mangon constate une très-notable différence entre les gaz en dissolution dans les deux eaux analysées, et montre que l'eau de Montmartre ne contient que 4.5 d'oxygène au lieu de 6.5 qu'il a trouvés dans l'eau de Passy; tandis qu'il affirme que celle-ci a une saveur moins désagréable que la première; tandis qu'il fait remarquer qu'il est impossible de tirer aucune conclusion de ses deux analyses, et que leurs résultats pour l'ammoniaque étant en contradiction avec la nature des choses, il est nécessaire de faire de nouvelles expériences sur des échantillons recueillis dans des circonstances plus comparables, le *Moniteur* conclut de ces mêmes analyses que les déjections de l'égout d'Asnières n'exercent aucune influence appréciable sur l'eau de Seine puisée par la machine de Saint-Ouen.

M. Mangon, j'en suis convaincu, protesterait hautement contre une aussi étrange interprétation des faits qu'il a observés. Il est fort extraordinaire toutefois que M. Mangon n'ait trouvé que 30 centièmes de milligramme d'ammoniaque dans l'eau des réservoirs de la rue Cottin, tandis que j'en ai constaté, le 25 mai,

232 centièmes de milligramme dans l'eau du réservoir du château, à Montmartre, et en août 1860, 270 centièmes de milligramme; en mai 1861, 288; et 178 centièmes de milligramme dans l'eau de la Seine, à l'ancienne prise de Saint-Ouen. Ce résultat est d'autant plus inexplicable, qu'au même moment où l'eau du réservoir de Montmartre ne donnait à M. Mangon que 30 centièmes de milligramme d'ammoniaque par litre, cet habile chimiste en constatait 60 centièmes de milligramme dans l'eau du réservoir de Chaillot, qui est alimenté par l'eau prise à l'estacade, et dans laquelle, le 26 mai, je n'en ai observé que 16 centièmes de milligramme. Je ne sais, en vérité, comment me rendre compte d'une divergence aussi considérable entre nos observations. Le réservoir de Montmartre aurait-il contenu un dépôt argilo-siliceux capable d'absorber l'ammoniaque? ou bien la tourille qui a servi au puisement aurait-elle contenu quelques matières poreuses propres à enlever l'ammoniaque à l'eau? Les échantillons n'ayant pas été recueillis sous les yeux de M. Mangon, l'employé qui a été chargé de cette opération aurait-il negligé quelques précautions essentielles? Je me borne à opposer aux données analytiques fournies par l'École des ponts et chaussées les résultats multiples et concordants de mes expériences exécutées sur des échantillons que j'avais tous puisés moi-même dans des bouteilles parfaitement lavées avec l'eau dont elles devaient être remplies, expériences faites avec le plus grand soin au Conservatoire impérial des Arts et Métiers par les procédés de M. Boussingault et avec ses propres appareils, résultats qui sont d'accord avec la nature des choses, avec les présomptions les mieux autorisées, avec l'ensemble des observations faites par M. Boussingault et par M. Poggiale, dans des circonstances analogues, et avec toutes celles qui sont consignées dans ce rapport et qui se confirment mutuellement.

J'ose espérer, Monsieur le Préfet, que vous approuverez le plan général de mes recherches, et l'extension que j'ai cru devoir leur donner. Vous trouverez, dans le tableau qui représente le résultat de ces recherches et dans leur discussion, tous les éléments nécessaires pour asseoir votre conviction à l'égard des analyses de l'École des ponts et chaussées, et des conclusions que l'administration municipale en a tirées d'une part, et de l'autre, à l'égard de mes expériences, des conséquences rigou-

reuses qui en découlent et des avis que le Conseil, adoptant ces conséquences, a eu l'honneur de vous adresser.

Il me reste maintenant, après avoir rempli l'objet principal de la mission que vous m'avez confiée, à envisager l'ensemble de mes observations indépendamment de la question incidente qui les a provoquées, au point de vue général de la salubrité et de la qualité des eaux de la Seine distribuées à la population parisienne; il y a là une question d'un haut intérêt, qui est tout entière du domaine de votre administration et de votre Conseil de salubrité, et qui reçoit de mes observations comparées une lumière trop vive pour que j'aie pu négliger d'appeler sur elle toute votre attention.

La Seine arrive aux portes de Paris après un cours de cent lieues à travers des contrées où les établissements industriels et les populations ne sont pas assez agglomérés pour altérer notablement la pureté et la salubrité naturelle de ses eaux; elle les présente alors dans d'excellentes conditions. En effet, elles sont habituellement limpides et peu chargées de matières limoneuses; elles tiennent en dissolution, en moyenne, 23 centimètres cubes d'acide carbonique, 9 centimètres cubes d'oxygène, 20 centimètres cubes d'azote par litre. Elles sont donc bien aérées et riches en oxygène. Leur proportion moyenne d'ammoniaque est inférieure à 17 centièmes de milligramme. Leur degré hydrotimétrique est compris entre 15 et 17.

Le poids de leurs matières fixes est de 0 gr. 24 centigrammes; il se compose de 16 centigrammes de carbonate de chaux, de 2 centigrammes de carbonate de magnésie, de 1 centigramme 1/2 à 2 centigrammes de sulfate de chaux, de quelques milligrammes de chlorures alcalins et de nitrates, et de 3 à 5 centigrammes de matières organiques.

Ces eaux sont loin d'offrir sans doute le degré de pureté de celles de l'Allier, de la Dordogne, de la Garonne, de la Loire, dont les titres hydrotimétriques sont compris entre 4 et 6 degrés, mais elles sont bien moins chargées de sels terreux que celles d'un grand nombre de sources et de rivières, qui sont employées à l'alimentation des habitants des villes et des campagnes, que celles d'Arcueil, par exemple, dont le titre hydrotimétrique est 28, que celles de la Marne, de l'Oise et de l'Escaut.

Il est à remarquer aussi que le sulfate de chaux ne s'y trouve

qu'en proportion extrêmement faible, tout à fait insuffisante pour lui donner les propriétés laxatives qui lui ont été inconsidérément attribuées, et que le bicarbonate de chaux, qui forme les 3/4 de leur résidu minéral, peut être considéré, dans ces proportions, comme un élément utile plutôt que nuisible à la santé des consommateurs. Il ne lui manque aucune des conditions essentielles d'une eau potable, salubre, agréable à boire et propre aux usages domestiques et industriels.

La pureté absolue de l'eau n'est pas, il faut bien le reconnaître d'ailleurs, une garantie de ses qualités sanitaires; l'eau distillée, qui est parfaitement pure, est lourde à l'estomac et indigeste; les eaux des glaciers et des fontes de neiges sont également pesantes; elles manquent de cette légèreté, de cette sapidité que donnent aux eaux courantes l'air et l'acide carbonique qu'elles tiennent en dissolution; elles ne renferment que des traces de substances salines que l'on rencontre dans les eaux des fleuves et des rivières, et qui ne sont pas sans doute sans influence sur leur salubrité.

Quoi qu'il en soit de cette observation incidente, l'eau de la Seine au-dessus de Paris, au pont d'Ivry, avant son mélange avec la Marne, est une eau de très-bonne qualité, mais bientôt elle reçoit l'affluent limoneux de la Marne, qui souvent trouble sa limpidité et augmente la proportion de ses matières salines, particulièrement des bicarbonates de chaux et de magnésie, puis elle est soumise à des causes d'altération qui se produisent sans cesse pendant son passage à travers Paris, et parmi lesquelles il faut mettre, en première ligne, les déjections des égouts, et notamment de la Bièvre, dont l'influence se fait très-fortement sentir à la hauteur du pont d'Austerlitz, particulièrement sur la rive gauche. Ces liquides impurs introduisent dans la Seine des matières organiques plus ou moins putréfiées, qui fermentent, dénaturent son atmosphère, en absorbant une partie de son oxygène, donnent naissance à de l'ammoniaque, à ces produits fétides de nature indéterminée, qui sont le résultat inévitable de la décomposition des matières organiques et qui communiquent à l'eau une odeur et une saveur désagréables, et des propriétés évidemment nuisibles à la santé.

Au delà du pont d'Austerlitz, le mélange plus intime des eaux du fleuve atténue beaucoup cette différence entre les deux rives;

mais elle est encore sensible en aval du pont de l'Alma où l'eau m'a donné en moyenne 25 centièmes de milligramme d'ammoniaque à l'estacade de la prise de Chaillot, tandis qu'elle m'en fournissait 30 centièmes de milligramme à 50 mètres à gauche de cette estacade, près de la seconde pile du pont.

Au-dessous de Chaillot, depuis l'estacade jusqu'au pont d'Asnières, les usines de Grenelle, de Courbevoie, de Puteaux et de Suresne versent encore, sur la rive gauche, des eaux industrielles abondantes; mais ces affluents sont trop limités pour produire des résultats considérables; aussi l'eau épurée pendant ce long trajet par le départ successif des matières solides qu'elle charrie et par la combustion lente d'une partie des matières organiques qu'elle tenait en dissolution, arrive au pont d'Asnières peu chargée d'ammoniaque et offrirait au milieu du fleuve, à partir de ce point, une eau potable d'assez bonne qualité, si les égouts d'Asnières et de Clichy ne venaient bientôt la troubler de leurs déjections, si infectes et si abondantes qu'elles l'altèrent profondément et la rendent éminemment insalubre sur la rive droite, jusqu'à la prise de Saint-Ouen et bien au delà.

Telles sont les vicissitudes que présente l'eau de la Seine, depuis le pont d'Ivry où elle apporte à la ville de Paris le tribut inappréciable d'une masse d'eau supérieure aux exigences du présent et de l'avenir, et en même temps limpide, pure et salubre, jusqu'aux égouts d'Asnières et de Clichy, où elle reçoit des déjections qui l'infectent jusqu'au milieu de son courant, à une distance de plusieurs kilomètres.

En suivant, sur le tableau de mes expériences, les modifications qu'elle présente dans sa composition, aux stations diverses où je l'ai examinée en mai, juin et août, dans les conditions défavorables d'une grande sécheresse et d'un grand abaissement de son niveau, on voit que l'eau de la Seine, excellente au pont d'Ivry, altérée sensiblement et souvent troublée par son mélange avec la Marne, devient de plus en plus impure depuis sa rencontre avec la Bièvre jusqu'à Chaillot, où, quoique prise au point le plus convenable dans cet endroit, elle a perdu beaucoup de ses qualités primitives; qu'à Neuilly, où la prise est moins heureusement située qu'à Chaillot, elle est moins pure encore; qu'à Asnières, elle commence à s'épurer; mais qu'altérée de nouveau par les égouts d'Asnières et de Clichy, elle ne

peut plus constituer une eau salubre qu'à trois kilomètres en aval de ces égouts sur la rive gauche du fleuve.

Les proportions d'ammoniaque observées à ces différentes stations étant l'indice certain du degré de salubrité de l'eau qui s'y trouve, méritent particulièrement, Monsieur le Préfet, de fixer votre attention. La comparaison que vous pouvez en faire, sur le petit tableau ci-dessous, vous permettra de vous rendre, d'un seul coup d'œil, un compte exact de la salubrité relative de l'eau à chacun de ces points.

Tableau indiquant les quantités d'ammoniaque observées dans l'eau de la Seine et son insalubrité relative aux stations suivantes (mai et juin 1861) :

STATIONS.	AMMONIAQUE par 1 litre d'eau.	INSALUBRITÉ relative.
	cent. de mill.	
Pont d'Ivry, en plein courant.........	0.000 08	1.00
Estacade de Chaillot................	0.000 26	3.25
Prise d'eau de Neuilly...............	0.000 28	3.50
Nouvelle prise de Saint-Ouen.........	0.000 20	2.50
Ancienne prise de Saint-Ouen........	0.002 30	28.70

De tous ces faits et de ces considérations, ne ressort-il pas avec la dernière évidence, Monsieur le Préfet, que le système général des eaux de Paris est éminemment défectueux; qu'il est regrettable, à tous égards, que les prises d'eau destinées à l'alimentation de la capitale aient été établies à Chaillot, à Neuilly, à Auteuil, à Asnières, à Saint-Ouen, c'est-à-dire en aval de Paris, dans des stations telles qu'elles devaient puiser dans la Seine des eaux souillées de toutes les immondices d'une grande capitale, tandis que, placées en amont, au pont d'Ivry, dans la Seine primitive, pour ainsi dire, elles auraient livré aux Parisiens une eau de la meilleure qualité; que ces prises, d'ailleurs, établies pour la plupart à 12 ou 15 mètres de la berge, dans le courant le plus direct des déjections des égouts, au milieu des vases et des atterrissements qu'ils déposent, ont été placées dans des con-

ditions beaucoup moins favorables qu'elles ne l'auraient, en général, été en plein courant; que les anciennes prises d'Asnières et de Saint-Ouen fournissaient aux consommateurs des eaux infectées par les égouts de ceinture et de Clichy; qu'il y avait urgence de les transporter au point où elles se trouvent depuis le 25 mai dernier; qu'elles ont été, sur l'avis du Conseil de Salubrité, installées dans la situation la moins défavorable, et qu'elles fournissent aujourd'hui une eau qui laisse encore à désirer, sans doute, mais qui est au moins aussi salubre que celle de la prise de Chaillot?

L'administration municipale, en construisant le magnifique égout collecteur de la rive droite qui débouche à Asnières et affranchit l'intérieur de Paris de la plus grande partie des cloaques qui souillaient les berges de son fleuve, est entrée dans un excellent système, et on ne saurait trop approuver les travaux qu'elle a entrepris pour en étendre les bienfaits à la rive gauche. Mais en même temps qu'elle repoussait au dehors de la capitale ses immondices et ses déjections abondantes, n'aurait-elle pas dû comprendre que, par une conséquence nécessaire, elle devait déplacer les prises d'eau établies en aval de ces sources impures, et même ne plus demander qu'à la Seine, au sommet de Paris, qu'à la Seine garantie, par de sages règlements, de toute cause présente ou future d'altération grave dans son cours supérieur, le tribut de ces eaux salutaires et inépuisables qui pourraient être dispensées libéralement à toutes les parties de la grande cité, et qui arrivent si heureusement au pied de son enceinte agrandie, pour fournir à tous les besoins de ses habitants, pour féconder son industrie et entraîner, par des voies souterraines, les débris insalubres qu'elle doit rejeter incessamment loin de ses murs?

DÉSIGNATION ET ORIGINE DES EAUX.	RIVES.	PLEIN courant.	ÉTIAGE.	FOND. (2)	SURFACE. (1)
Eau de la Marne puisée dans le bras gauche de la Marne, près la bosse de Marne, à 20 metres en amont de l'arche du milieu du pont du chemin de fer	......	plein c.	0,26	....	surface
	......	plein c.	0,08	....	surface.
	......	plein c.	0,08	fond.	......
Eau de la Seine au pont d'Ivry, à 20 mètres en amont de l'arche du milieu, dite Arche marinière	......	plein c.	0,26	....	surface.
	......	plein c.	0,08	....	surface.
	......	plein c.	0,08	fond.	......
	......	plein c.	0,08	....	surface.
Eau de Seine au pont d'Ivry.... de 11 anal. exéc. en 1852, 1853 et 1854 par M. Poggiale.	......	......	....	....	surface.
de 21 — 1852, 1853-54 et 1855 — ...	......	......	....	....	surface.
de 13 — 1852, 1853 et 1854 — ...	*rive d.*	......	....	....	......
Eau de Seine au pont d'Austerlitz. moyenne de 3 analyses exécutées en avril 1854 par M. Poggiale	*rive d.*	......	....	....	surface.
	rive g.	......	....	....	surface.
moyenne de 3 analyses exécutées en juillet 1853 et avril 1854 par M. Poggiale	*rive d.*	......	....	....	surface.
	rive g.	......	....	....	surface.
Eau de Seine à l'estacade de la prise de Chaillot, en avant de l'arche droite du pont de l'Alma	*rive d.*	......	0,20	....	surface.
	rive d.	......	0,20	fond.	......
Id. bouche du tuyau qui verse dans les bassins de Passy, rue Villejust, l'eau de la prise de Chaillot	*rive d.*	......	0,08	....	surface.
Id. de la pr. de Chaillot, en av. de l'arche dr. du pont de l'Alma.	*rive d.*	......	0,08	fond.	......
Rive gauche, près l'arche du pont de l'Alma	*rive g.*	......	0,08	....	surface.
	rive g.	......	0,08	fond.	......
Eau prise au robinet de distribution de l'eau des bassins de Passy, rue Villejust.	*rive d.*	......	0,20	fond.	......
Eau de Seine recueillie à la prise de Neuilly, en aval du pont de Neuilly, à 40^{m} de l'étiage sur la rive droite, et à 12^{m} de la berge de l'île.	*rive d.*	......	0,20	....	surface.
Eau de Seine recueillie au pont d'Asnières, à 10 mètres en aval (plein courant).	......	plein c.	....	....	surface.
à 10^{m} en aval du pont, à 12^{m} de l'étiage (*rive droite*).	*rive d.*	......	....	....	surface.
Eau de Seine recueillie à Asnières, au-dessus de l'ancienne prise du réservoir de Clichy, à 300 mètres en aval du grand égout collecteur	*rive d.*	......	....	....	surface.
Eau recueillie dans la Seine en pl. c., sur la ligne de l'anc. pr. du rés. de Clichy.	......	plein c.	....	....	......
Eau recueillie sous le filtre du réservoir de Clichy	*rive d.*	......	....	....	......
A 3 kilomètres en aval du pont d'Asnières à la hauteur de l'ancienne prise de Saint-Ouen, à 12 mètres de l'étiage (*rive gauche*)	*rive g.*	......	....	....	surface.
A 3 kil. en aval du p. d'Asnières, à la haut. de l'ancienne prise (plein courant).	......	plein c.	....	....	surface.
Au-dessus de l'ancienne prise de Saint-Ouen, à 12 mètres de l'étiage	*rive d.*	......	....	....	surface.
Eau prise au bec du tuyau qui verse l'eau de l'ancienne prise de Saint-Ouen dans le réservoir du château, à Montmartre	*rive d.*	......	....	fond.	......
Eau prise au-dessus de l'ancienne prise de Saint-Ouen	*rive d.*	......	0,60	fond.	......
	rive d.	......	....	....	surface.
	rive d.	......	....	....	surface.
Eau prise au drapeau de la nouvelle prise à 110 mètres de l'étiage de la *rive droite*, et à 40 mètres de la *rive gauche*	*rive g.*	......	0,60	....	surface.
	rive g.	......	0,60	fond.	......
	rive g.	......	0,20	....	surface.
Eau prise à 20 mètres de l'étiage, *rive gauche*, et à 20 mètres du drapeau.	*rive g.*	......	0,60	....	surface.
Eau prise dans le réservoir du château, à Montmartre	*rive d.*	......	0,20	fond.	......
(Ce réservoir fournit directement l'eau aux consommateurs sans filtrage, il est alimenté par le trop plein du reserv. sup. qui, lui-même, reçoit l'eau de la p. prise de St-Ouen.					

(1) Les eaux puisées, à la surface, ont été recueillies à 10 centimètres *environ au-dessous* du niveau.

(2) Les eaux puisées, au fond, ont été recueillies au moyen d'un appareil particulier, à 35 centimètres au-dessus du sable, c'est-à-dire à peu près dans les couches où s'ouvrent les tuyaux aspirateurs des prises d'eau. L'eau de la Marne a été prise à 1 m. 20 c. au-dessous du niveau. — L'eau de la Seine, à Ivry, à 2 m. 50 c. au-dessous du niveau. — L'eau de la Seine, à l'estacade de Chaillot, à 3 mètres au-dessous du niveau. — L'eau, à gauche de l'estacade, à 1 m. au-dessous du niveau. — L'eau recueillie à l'ancienne prise de Saint-Ouen, à 2 m. 50 c. au-dessous du niveau. — L'eau recueillie à la nouvelle prise de Saint-Ouen, à 3 m. au-dessous du niveau.

(3) L'eau de la Seine, à Ivry, contenant en moyenne 17 centièmes de milligrammes d'ammoniaque et un air dans lequel l'oxygène entre pour 31 centièmes, il est très-intéressant de remarquer que dans l'eau recueillie, le 17 mai, à l'ancienne prise de Saint-Ouen, la proportion d'oxygène de l'air dissous était seulement de 22 centièmes, en même temps que la proportion d'ammoniaque atteignait le *chiffre de 288 centièmes de milligrammes.*

de la Seine, calculés pour un litre d'eau.

DATES des prises.	HEURES des prises.	Degré hydrotimétrique.	Atmosphères ou gaz en dissolution. (3)	Matières fixes séchées à 110°.	Matières organiques séchées à 110°.	Ammoniaque. (4)	Acide nitrique.	ÉQUIVALENT de l'acide nitrique en nitrate de potasse (5).	MOYENNES des proportions d'ammoniaque contenues dans les eaux.
				gr.	gr.	gr. m.	gr. m.	gr. m.	gr. m.
26 mai 1861	à 1 h.	23,5	...	0,256	...	0,000,00	0,004,136	0,007,74	
18 juin 1861	2 h. 1/2	...	...	0,320	0,060	0,000,07	...	...	0,000,05
18 juin 1861	2 h. 1/2	...	...	0,328	0,065	0,000,07	...	...	
26 mai 1861	midi.	17,0	...	0,220	...	0,000,12	0,006,224	0,011,65	
18 juin 1861	2 h.	...	...	...	...	...	...	...	
18 juin 1861	2 h. 1/4	...	...	...	...	0,000,06	...	...	0,000,08
18 juin 1861	2 h. 1/4	...	...	0,228	0,040	0,000,07	...	...	
...	...	...	...	...	...	0,000,17	...	...	
...	...	...	...	0,241	...	...	...	...	
...	...	...	ac. carb(6) 23cc 0 azote ... 20, 0 oxygène . 9, 0	...	...	...	...	...	
...	...	...	...	0,247	...	...	...	...	
...	...	...	...	0,294	...	...	...	...	
...	...	...	...	...	...	0,000,20	...	...	
...	...	...	...	...	...	0,001,35	...	...	
25 mai 1861	midi.	19,5	...	0,228	...	0,000,16	0,006,192	0,011,59	
25 mai 1861	11 h.	...	...	0,272	...	0,000,39	0,007,988	0,014,95	0,000,27
18 juin 1861	midi.	...	...	...	...	0,000,16	...	...	
18 juin 1861	midi.	...	...	...	...	0,000,34	...	...	
18 juin 1861	midi 1/2	...	...	...	...	0,000,34	...	...	
18 juin 1861	midi 1/2	...	...	...	...	0,000,25	...	...	
25 mai 1861	11 h.	...	...	...	...	0,000,16	0,007,776	0,016,56	
25 mai 1861	...	20,5	...	0,244	...	0,000,28	0,005,088	0,009,52	
3 août 1860	midi.	18,0	...	...	...	0,000,03	...	...	
3 août 1860	midi 1/4	19,0	...	...	...	0,000,67	...	...	
7 juin 1859	9 h.	...	...	0,217	...	0,005,13	...	...	
7 juin 1859	9 h. 1/2	...	...	0,164	...	0,000,28	...	...	
7 juin 1859	11 h.	...	...	0,200	...	0,000,81	...	...	
3 août 1860	1 h.	19,0	...	...	...	0,000,04	...	...	
3 août 1860	1 h. 1/4	18,0	...	...	...	0,000,67	...	...	
3 août 1860	1 h. 1/2	20,0	...	...	...	0,002,70	...	...	0,002,13
3 août 1860	2 h. 1/2	...	...	...	...	0,001,57	...	...	
17 mai 1861	11 h.	...	ac. carb(7) 15,49 azote. .. 14,31 oxygène. 4,05	0,284	...	0,002,88	0,007,724	0,014,46	0,002,30
17 mai 1861	11 h. 1/4	...	...	0,252	...	0,002,26	0,008,016	0,015,01	
25 mai 1861	2 h. 1/2	...	...	0,288	0,072	0,001,78	0,005,256	0,009,82	
17 mai 1861	11 h. 1/2	...	...	0,244	...	0,000,21	...	...	
17 mai 1861	11 h. 1/2	...	...	0,252	...	0,000,06	0,085,488	0,010,27	0,000,20
25 mai 1861	3 h.	20,5	...	0,264	...	0,000,33	0,007,392	0,013,84	
17 mai 1861	11 h. 3/4	...	ac. carb(8) 12,02 azote. .. 16,60 oxygène. 6,87	0,232	...	0,000,46	...	...	
25 mai 1861	4 h.	21,5	...	0,240	0,056	0,002,32	0,005,500	0,010,29	

(4) M. Boussingault, dans ses belles et récentes recherches sur l'ammoniaque et l'acide nitrique ou les nitrates contenus dans les eaux, a remarqué que de ses nombreuses analyses considérées dans leur ensemble, il résulterait que les eaux de rivière contiendraient en moyenne 20 centièmes de milligramme d'ammoniaque, tandis qu'il ne s'en trouverait que 10 centièmes de milligramme dans les eaux de source.

(5) D'après M. Boussingault, la proportion des nitrates serait très-faible dans la Bièvre, très-élevée dans l'Ourcq, et dans la Seine, au pont Notre-Dame, elle équivaudrait à 11 milligrammes de nitrate de potasse. (*Chimie agricole*, 1861; tome II, page 62).

(6) 20 d'azote et 9 d'oxygène représentent un air composé d'azote 69,0, oxygène 31,0.

(7) Azote 14,31, oxygène 4,05, représentent un air composé d'azote 77,89, oxygène 22,11. — On voit que dans cette eau la proportion d'oxygène est très-faible et que celle d'ammoniaque est très-considérable.

(8) Azote 16,60, oxygène 6,87, représentent un air composé d'azote 70,7, oxygène 29,3.

DE
L'ACTION DE L'AMMONIAQUE
SUR
LES CHLORURES

Par M. P. P. DEHÉRAIN.

Il y a plusieurs années déjà, nous avons eu l'honneur de soutenir devant la Faculté des sciences de Paris une thèse sur les *Combinaisons formées par deux chlorures*[1]. Après avoir préparé un grand nombre de ces combinaisons, nous avons reconnu que les deux éléments binaires dont elles sont formées pouvaient être déplacés par d'autres combinaisons du même ordre, nous avons démontré que les chlorures se substituent les uns aux autres, dans les mêmes circonstances que les oxydes se déplacent entre eux. — Ces résultats nous paraissaient de nature à apporter quelques lumières sur les fonctions chimiques des chlorures, et à faire revenir sur une opinion émise d'abord par H. Davy, et soutenue depuis par Bonsdorff, à savoir que les chlorures peuvent former plusieurs classes différentes, et qu'il convient de les diviser en chlorures acides, basiques, indifférents, etc.; qu'enfin il faut considérer comme chloro-sels leurs combinaisons, et bannir de la science le nom de chlorure double qui ne présente aucune idée nette à l'esprit; toutefois, comme la distinction des chlorures en plusieurs groupes touche à des questions de philosophie chimique fort importantes, nous ne pouvions

1. Les combinaisons formées par deux chlorures sont-elles des sels? — *Thèse pour le doctorat*, décembre 1859.

espérer triompher des opinions généralement admises par cette unique recherche, et nous avons étudié les combinaisons que forment les chlorures avec l'ammoniaque dans l'espoir d'éclairer un sujet encore très-mal connu, malgré l'intérêt capital qu'il nous paraît présenter.

Le travail que nous offrons aujourd'hui au public, exécuté au Conservatoire, dans le laboratoire de notre regretté maître, M. Baudement, a été présenté par fragments à l'Académie des sciences, dans les séances des 15 avril 1861, 31 mars et 1er décembre 1862, et quelques extraits de ces recherches ont été insérés dans les comptes rendus des séances de cette Compagnie. Nous avons aussi entretenu de nos travaux la Société Chimique, qui a publié dans son recueil quelques fragments du Mémoire, dont l'ensemble était encore inédit.

§ 1. Combinaisons des chlorures avec le gaz ammoniac. — Historique.

Dès les premières recherches auxquelles le chlore donna naissance, on reconnut que les chlorures peuvent s'unir à l'ammoniaque, et sir H. Davy, dans l'admirable mémoire qui décida les chimistes à considérer le chlore comme un corps simple, cite une combinaison du chlorure d'étain avec le gaz ammoniac[1].

Plus tard, M. Grouvelle[2] revient sur ce sujet et tente d'établir la composition de cette combinaison, il donne aussi une première analyse du corps que forme le perchlorure de phosphore lorsqu'il s'unit au gaz ammoniac.

En 1830, M. Persoz[3] étudie un plus grand nombre de ces combinaisons, il met en contact, dans une cloche retournée sur le mercure, le gaz ammoniac avec les chlorures, et observe le volume de gaz absorbé; il reconnaît ainsi que les chlorures de silicium, d'aluminium, d'arsenic, de phosphore, de titane, que le perchlorure d'étain, le perchlorure d'antimoine, et le

1. *Annales de chimie et de physique.*
2. *Loc. cit.*, t. XVII, 2e série, 1821.
3. *Loc. cit.*, t. XLIV, 2e série, 1830.

chlorure de chrome, s'unissent à froid au gaz ammoniac, et que le chlorure de zinc, les protochlorures d'antimoine et d'étain, que le chlorure d'urane, de bismuth, les bichlorures de cuivre et de mercure, s'unissent à ce gaz à l'aide de la chaleur. La conclusion de ce mémoire intéressant est que le chlore forme des acides aussi bien que l'oxygène, et que ces acides saturent aussi bien l'ammoniaque que les acides oxygénés.

M. H. Rose examine, en 1836[1], les combinaisons que forment les sels et les chlorures avec le gaz ammoniac; ses expériences ont porté non-seulement sur les chlorures des métaux proprement dits, mais aussi sur les chlorures alcalino-terreux, de calcium, de baryum, de strontium, ainsi que sur le chlorure d'argent; il reconnaît que le chlorure de baryum, comme les chlorures alcalins, n'a aucune affinité pour le gaz ammoniac, mais qu'il n'en est pas de même des chlorures de strontium et de calcium, qui, absorbant à froid des quantités considérables de gaz, le perdent sous l'influence d'une faible élévation de température.

Les conclusions de ce mémoire sont les suivantes : « Les combinaisons de l'ammoniaque avec les chlorures métalliques ont une ressemblance frappante avec les combinaisons que ces sels forment avec l'eau. »

Enfin, on doit à M. Robert Kane le mémoire le plus complet qui ait été publié sur le sujet qui nous occupe. Ce savant a étudié d'une façon très-approfondie les combinaisons des chlorures de zinc et de cuivre avec le gaz ammoniac, il a donné leur formule; enfin, ce mémoire se termine par des considérations sur les combinaisons ammoniacales dont nous n'avons pas à nous préoccuper, et qui sont complétement étrangères à la question que nous traitons.

Nous laissons de côté, dans cette nomenclature rapide, les travaux importants qui ont établi la composition et les propriétés des bases ammoniaco-métalliques découvertes par MM. Gros, Reiset, Frémy, etc., elles n'appartiennent pas à notre sujet, mais nous devons rappeler le travail que publia Gerhardt[2], sur les combinaisons du protochlorure de phosphore et du gaz ammo-

1. *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. LXII, 1836.
2. *Annales de chimie et de physique*.

niac, combinaison qu'il considère comme analogue aux amides oxygénées et à laquelle il donna le nom de chloro-phosphamide.

Ce rapide aperçu suffit pour faire voir à quel point la question que nous voulions étudier est mal connue, puisque d'une part M. Persoz rapproche les combinaisons de chlorures avec le gaz ammoniac de celles que celui-ci forme avec les acides oxygénés, tandis que M. Rose les compare aux sels hydratés. De nouvelles expériences étaient nécessaires pour que les chimistes fussent fixés sur la véritable nature des combinaisons formées par le gaz ammoniac avec les chlorures.

§ II. Action du gaz ammoniac sur le protochlorure de cuivre.

Le protochlorure de cuivre, placé dans une cornue et chauffé jusqu'à fusion, a été attaqué par le gaz ammoniac sec; on obtient ainsi une masse brune qui a été analysée.

0^{gr}.381 de chlorure ammoniacal sont dissous dans l'acide azotique, on a ajouté 25^{cc} de dissolution de nitrate d'argent, qui correspondent à 0.164 de chlore, et sont précipités par 127 divisions de sel marin; on ajoute 31 divisions pour saturer, d'où 0.123 de chlore, ou 32.2 pour 100 de chlore.

0.801 de chlorure ont donné 0.556 d'oxyde de cuivre, correspondant à 0.451 de cuivre, d'où 56.3.

0.765 de matière ont été chauffés avec la chaux sodée; 10^{cc} d'acide sulfurique, correspondant à 0^{gr}.170 d'azote, sont saturés par 240 divisions; la saturation est faite, après la décomposition, par 175 divisions, d'où 0.046 ou 6.01 d'azote.

La formule $2.Cu^2Cl.AzH^3$

	Exige.	Trouvé.
Cl	33.0	32.2
Cu...............	58.8	56.3
Az...............	7.9	6.0

On voit qu'en agissant par voie sèche, cette matière est difficilement pure; on se trouve en effet devant une grave difficulté : quand on chauffe trop vivement le chlorure dans le gaz ammoniac, on le réduit complétement et on obtient du cuivre métal-

lique, et si on ne chauffe qu'à une température plus basse, on peut avoir un mélange de la combinaison précédente avec une seconde matière plus riche en ammoniaque.

On peut, par voie humide, obtenir cette combinaison plus facilement à l'état de pureté; dans une dissolution de sel ammoniac maintenue à l'ébullition, on fait pénétrer du bioxyde de cuivre et du cuivre métallique; on obtient, par refroidissement, de belles paillettes blanches non encore décrites et qui présentent la formule :



$$2\,Cu^2Cl.\ AzH^3\,2HO.$$

On a en effet :

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	30.6	30.4
Cu...............	54.3	53.8
Az...............	6.0	5.9

On a dosé ensemble l'hydrogène du gaz ammoniac et l'eau de cristallisation en brûlant la matière dans un tube avec de l'oxyde de cuivre; 0.281 de matière ont donné 0.046 d'eau, soit 16.3 pour 100.

Or l'azote de la matière exige 1.2 d'hydrogène, en supposant cet azote à l'état de gaz ammoniac, 1.2 d'hydrogène donnent 10,8 d'eau, d'où il reste 5.5 pour l'eau de cristallisation, et la formule exige 7.7.

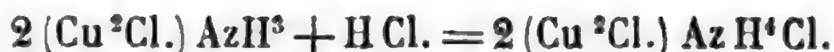
Il y a donc là une perte sensible, et on pourrait peut-être en conclure qu'il manque de l'hydrogène dans cette matière et qu'elle doit être formulée $2\,Cu^2Cl.\ AzH^2$; mais la facilité avec laquelle ce composé en paillettes blanches s'altère au contact de l'air, en perdant du gaz ammoniac, explique facilement le défaut d'hydrogène; au reste, la réaction qu'exerce sur lui l'acide chlorhydrique ne laisse pas de doute sur sa véritable formule.

Qu'on traite, en effet, le composé obtenu par voie sèche ou par voie humide par l'acide chlorhydrique, et on obtiendra un beau chlorosel blanc, en prismes anhydres très-altérables à l'air, et qu'il faut conserver dans son eau mère dans des tubes scellés.

Ce chlorosel a pour formule $2\,Cu^2Cl.\ AzH^4Cl$.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	42.6	42.9
Cu...............	50.0	49.3
Az...............	5.6	5.5

Sa formation s'explique très-naturellement, si on admet pour le chlorure ammoniacal la formule indiquée plus haut; car on a :



$$2\,(Cu^2Cl.)\,AzH^3 + H\,Cl. = 2\,(Cu^2Cl.)\,Az\,H^4\,Cl.$$

Si, au contraire, on avait : $2\,(Cu^2Cl.)\,AzH^2$, on obtiendrait un mélange d'un composé bleu renfermant le bichlorure de cuivre et d'un autre chlorosel que nous décrirons bientôt, d'après la formule :



$$2\,Cu\,Cl.^2\,Az\,H^2 + 2\,H\,Cl. = Cu\,Cl.\,Az\,H^4\,Cl. + Cu^2Cl.\,AzH^4Cl.$$

et c'est ce qu'on n'a pas observé.

Si au lieu de faire passer le gaz ammoniac sur le protochlorure de cuivre chauffé, on agit à la température ordinaire, en laissant la cornue s'échauffer faiblement, par suite de la réaction, on obtient une autre combinaison, qui se présente sous forme d'une poudre foncée qui verdit promptement à l'air.

Cette substance ainsi préparée est formée d'équivalents égaux de protochlorure de cuivre et de gaz ammoniac.

	Calculé.	Trouvé.	
Cl	30.7	30.0	
Cu	54.7	53.3	
Az	12.1	10.1	11.1

Il est difficile de faire pénétrer dans le protochlorure de cuivre exactement la quantité de gaz ammoniac nécessaire pour arriver à obtenir la matière pure, car aucun signe ne vient indiquer quand la combinaison est terminée.

On obtient au reste, par voie humide, ce même composé, $Cu^2Cl.\,AzH^3$; seulement, dans ce cas, il fixe $2\,HO$.

Ce protochlorure de cuivre ammoniacal, $Cu^2\,Cl.\,AzH^3\,2HO$, se prépare en dissolvant le protochlorure de cuivre dans l'acide chlorhydrique, ajoutant de l'ammoniaque et du cuivre métallique, et en faisant bouillir pendant quelque temps au sein d'une liqueur qui bleuit rapidement à l'air, on voit bientôt se déposer des cristaux brillants affectant la forme de cubes d'une grande blancheur.

L'analyse de ce composé a fourni les nombres suivants :

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	26.9	26.0
Cu...............	47.1	48.7
Az...............	10.6	10.4
HO..............	13.6	13.8

L'eau de cristallisation a été dosée en chauffant la combinaison dans un tube de verre vers 150° et en faisant passer un courant d'hydrogène sec, qui entraînait la vapeur d'un mélange de gaz ammoniac dans un tube à fragments de potasse caustique; l'augmentation de poids de l'appareil donnait la quantité d'eau. On a aussi essayé de déterminer l'hydrogène existant dans ce composé; mais on a toujours trouvé des nombres un peu faibles, ce qui avait fait croire d'abord que cette combinaison ne renfermait peut-être pas intégralement la molécule ammoniacale, mais qu'une partie de l'hydrogène du gaz ammoniac était remplacée par du cuivre ou même du chlorure de cuivre; toutefois la quantité d'eau provenant de la combustion de l'hydrogène allant en augmentant à mesure qu'on prit plus de soins pour empêcher la déperdition du gaz ammoniac qui se fait au contact de l'air avec une extrême facilité, on vit qu'il ne fallait pas attacher une grande importance à ce défaut dans l'hydrogène; au reste, la réaction qu'exerce sur ce composé l'acide chlorhydrique ne laisse aucun doute sur la formule, qu'on doit représenter par :



$$Cu^2Cl.\,AzH^3\,2HO.$$

On a en effet :



$$Cu^2Cl.\,AzH^3 + HCl. = Cu^2Cl.\,AzH^4Cl.$$

sel blanc en aiguilles; tandis que si on avait une formule telle que $Cu^2Cl.\,AzH^2$, ne renfermant pas intégralement l'hydrogène du gaz ammoniac, l'acide chlorhydrique donnerait un chlorosel bleu d'après la réaction :



$$Cu^2Cl.\,AzH^2 + 2\,HCl. = 2\,CuCl.\,AzH^4Cl.$$

sel bleu impossible à confondre avec les aiguilles blanches, qu'on a toujours obtenues quand on a fait cette opération.

Ce chlorosel, très-altérable à l'air, facile à décomposer par

l'eau comme les précédents, peut être obtenu non-seulement par l'action de l'acide chlorhydrique sur le chlorure ammoniacal, mais aussi par l'union directe des deux chlorures, il doit être conservé dans son eau mère; il ne renferme pas d'eau de cristallisation. Sa composition a été établie par l'analyse suivante :

	Trouvé.	Calculé.
Cl...............	48.5	46.7
Az...............	9.6	9.5

L'excès de chlore est dû évidemment à un peu d'acide chlorhydrique interposé au milieu de la masse cristalline, qui est très-difficile à dessécher.

3. *Action de l'air sur le protochlorure de cuivre ammoniacal.* — Le protochlorure de cuivre ammoniacal blanc cristallisé absorbe très-rapidement l'oxygène de l'air en donnant une liqueur d'un bleu foncé; on sait qu'on a proposé depuis longtemps ce réactif pour doser l'oxygène dans un mélange gazeux.

Lorsqu'on abandonne à l'air, dans une capsule, une dissolution chaude et concentrée de ce protochlorure de cuivre ammoniacal, on ne tarde pas à voir se déposer de belles aiguilles bleu violacé très-altérables à l'air; on peut les conserver dans leur eau mère.

L'analyse très-laborieuse de ces aiguilles a fourni les nombres suivants qui conduisent à la formule :



$$Cu^3Cl^2O.\ 2AzH^3.\ 3HO.$$

	Trouvé.	Calculé.
Cl...............	30.0	30.2
Cu...............	40.7	40.3
Az...............	11.1	11.9
HO...............	11.8	11.1
H...............	2.4	2.5
O...............	»	4.0
	96.0	100.0

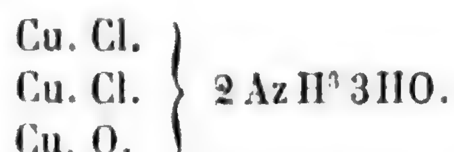
D'où on déduit par différence 4 d'oxygène; l'eau de cristallisation a été dosée en desséchant la matière placée dans un tube dans un courant d'hydrogène à 150°; on entraîne en même temps

que de l'eau une certaine quantité d'ammoniaque, de façon qu'il serait impossible d'obtenir l'eau par différence; mais, comme on l'a dit plus haut, on fait passer l'hydrogène desséchant dans un tube renfermant des fragments de potasse qui retiennent l'eau et laissent passer le gaz ammoniac.

0.857 de matière ainsi traitée ont donné dans le tube à potasse un excès de poids de 0,106; d'où 11.8 pour 100 d'eau.

L'hydrogène total a été dosé en brûlant le composé dans un tube avec de l'oxyde de cuivre; on a déduit de la quantité d'eau trouvée dans le tube à potasse celle qui existait toute formée dans la matière analysée, et qu'on connaissait d'après l'expérience précédente.

Ce composé est donc un oxychlorure de cuivre, une combinaison de deux parties de bichlorure de cuivre et d'une d'oxyde de cuivre soudées par de l'ammoniaque et de l'eau, ainsi que l'indique la formule :



$$\left.\begin{array}{l}Cu.\,Cl.\\Cu.\,Cl.\\Cu.\,O.\end{array}\right\}\ 2\,AzH^3\,3HO.$$

La formation de ce composé s'explique facilement par l'équation suivante :



$$2\,(Cu^2Cl.\,AzH^3) + 2\,O = Cu^3Cl^2O.\,2\,AzH^3 + CuO.$$

L'oxyde de cuivre séparé restant en dissolution dans l'excès d'ammoniaque.

Telles sont les réactions complexes qui se produisent quand on emploie, ainsi que l'a proposé Doyère depuis plusieurs années, le protochlorure de cuivre ammoniacal pour absorber l'oxygène; à notre connaissance, l'étude complète du phénomène n'avait pas été faite avant nous.

4. Quand on prolonge l'action du gaz ammoniac sur le protochlorure de cuivre à froid, on obtient une poudre d'un vert très-foncé. Cette matière ne présente aucune stabilité; à l'air elle abandonne spontanément une quantité considérable de gaz ammoniac; traitée par l'acide chlorhydrique, elle n'a pas donné de chlorosel correspondant, mais seulement les aiguilles blanches $Cu^2Cl.\,AzH^4Cl.$, décrites plus haut.

On a, malgré son instabilité, tenté son analyse :

	Trouvé.	Calculé.
Cl	27.4	26.7
Az	17.7	21.1

La formule $Cu^2Cl.\ 2AzH^3$ exige, comme on voit, une quantité d'azote beaucoup plus grande que celle qu'on avait obtenue; toutefois, les 17.7 pour 100 nous indiquaient déjà une matière particulière, quand la préparation du chlorosel correspondant vint lever tous les doutes sur l'existence du composé $Cu^2Cl.\ 2AzH^3$.

Ce chlorosel a été préparé par un de mes élèves, M. Camille Arnoul, qui m'a secondé dans cette partie de mon travail avec le plus grand zèle et la plus grande habileté : je suis heureux de l'en remercier publiquement.

En dissolvant un équivalent de protochlorure de cuivre dans l'acide chlorhydrique chaud et deux de chlorhydrate d'ammoniaque, on obtient, par refroidissement, des aiguilles prismatiques brunes correspondant à la formule $Cu^2Cl.\ 2AzH^4Cl.\ HO$.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	49.6	50.3
Cu	29.3	30.2
Az	13.3	13.8

Ainsi on voit que le protochlorure de cuivre se combine en trois proportions différentes avec le gaz ammoniac, et qu'à chacune d'elles correspond un chlorosel, on a ainsi :

$2Cu^2Cl.\ AzH^3$.	$2Cu^2Cl.\ AzH^4Cl$.
$Cu^2Cl.\ AzH^3$.	$Cu^2Cl.\ AzH^4Cl$.
$Cu^2Cl.\ 2AzH^3$.	$Cu^2Cl.\ 2AzH^4Cl$.

Les deux premiers chlorures de cuivre ammoniacaux sont susceptibles de fixer l'acide chlorhydrique pour se transformer en chlorosels; mais la troisième combinaison ne présente pas une stabilité suffisante pour que cette opération réussisse, et le chlorosel ne peut être obtenu qu'en combinant directement le protochlorure de cuivre et le chlorure d'ammonium.

§ III. Action du gaz ammoniac sur le bichlorure de cuivre.

1. En fondant le bichlorure de cuivre dans une cornue à une basse température, et en faisant passer un courant de gaz ammoniac, on obtient une première combinaison vert foncé. Elle correspond à la formule 2 Cu Cl. Az H^3.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	47.0	45.5
Cu...............	41.7	43 5
Az...............	8.4	9.2

L'analyse indique que la matière obtenue n'était pas complétement pure, mais qu'elle devait être mélangée avec une autre matière plus azotée, qu'on obtient, en effet, dans des circonstances analogues à celles où se produit la combinaison décrite plus haut.

A ce bichlorure de cuivre hémi-ammoniacal correspond un chlorosel bleu, en cristaux, affectant la forme de dodécaèdres rhomboïdaux, qui doit se formuler : 2 Cu Cl. Az H^4Cl. 4 HO.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	47.6	47.9
Az...............	6.5	6.6
HO..............	16.1	16.8

2. Il est difficile d'obtenir, par action directe, du gaz ammoniac sur le bichlorure de cuivre, la combinaison Cu Cl. Az H^3; mais on arrive à la préparer en soumettant à une calcination ménagée la combinaison immédiatement supérieure Cu Cl. 2 Az H^3.

La poudre verte obtenue a donné à l'analyse les nombres suivants, qui conduisent à la formule : Cu Cl. Az H^3.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	42.2	41.8
Cu...............	37.5	38.9
Az...............	16.6	14.2

M. Kane avait déjà obtenu ce composé en desséchant à 100° un chlorure plus ammoniacal obtenu par voie humide.

3. En dissolvant dans du sel ammoniac un mélange d'oxyde de cuivre et de cuivre métallique, on obtient souvent une combinaison renfermant à la fois du protochlorure et du bichlorure de cuivre soudés par une certaine quantité d'ammoniaque.

Cette combinaison non encore décrite apparaît sous forme de belles paillettes violacées, et, sauf la couleur, a une apparence analogue à la combinaison $2.Cu^2Cl.AzH^3$, que nous avons décrite plus haut. Les paillettes violettes sont encore obtenues quand on traite par un très-faible excès d'acide chlorhydrique le protochlorure de cuivre ammoniacal en cristaux blancs décrits plus haut. On peut encore les avoir en faisant bouillir du sel ammoniac avec un mélange de bioxyde et de protoxyde de cuivre. Les paillettes, très-difficiles à avoir pures, sont presque toujours mélangées avec les paillettes blanches décrites plus haut, et l'analyse exécutée sur la matière brute obtenue par ces diverses méthodes, sans avoir la ressource de la faire cristalliser plusieurs fois, ne s'accorde que médiocrement avec la formule : $Cu^3Cl.^2AzH^3 2HO$.

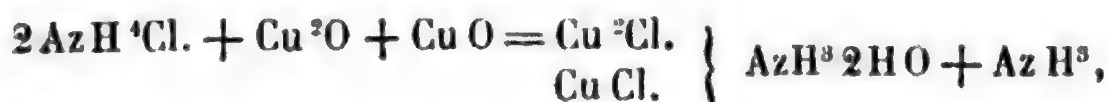
	Calculé.	Trouvé.	
Cl............	35.5	30.3	31.0
Cu............	47.2	49.7	48.9
Az............	7.0	6.6	5.6

La formation de ce composé



$$\left.\begin{matrix} Cu^2Cl. \\ Cu\,Cl. \end{matrix}\right\} AzH^3 2HO$$

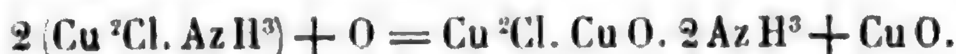
peut être représentée lorsqu'on le produit à l'aide du sel ammoniac par la formule suivante :



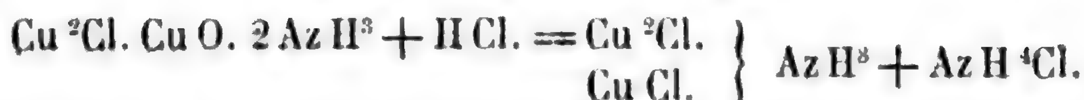
$$2AzH^4Cl. + Cu^2O + CuO = \left.\begin{matrix} Cu^2Cl. \\ Cu\,Cl. \end{matrix}\right\} AzH^3 2HO + AzH^3,$$

et, en effet, il se dégage du gaz ammoniac pendant l'ébullition du sel ammoniac avec ces oxydes.

On comprend encore que l'acide chlorhydrique et l'oxygène de l'air, agissant sur le protochlorure de cuivre ammoniacal en même temps, puissent d'une part lui enlever de l'ammoniaque, tandis que le cuivre passe au maximum ; on aura alors les deux équations suivantes :



$$2(Cu^2Cl.AzH^3) + O = Cu^2Cl.CuO.2AzH^3 + CuO.$$



$$Cu^2Cl.\,CuO.\,2\,AzH^3 + HCl. = \left.\begin{matrix}Cu^2Cl.\\ CuCl.\end{matrix}\right\}\,AzH^3 + AzH^4Cl.$$

On obtient peut-être les paillettes violettes plus facilement par cette seconde méthode que par la première. Si, en effet, on a fait dissoudre dans l'ammoniaque le protochlorure de cuivre, sans addition de cuivre métallique, la liqueur bleuit rapidement et laisserait déposer les aiguilles bleues décrites plus haut, si on n'y ajoutait une petite quantité d'acide chlorhydrique suffisante pour maintenir la liqueur très-légèrement acide; mais l'acide détermine la formation des paillettes violettes qui se déposent en masse cristalline par le refroidissement. Lorsqu'au contraire on maintient le sel ammoniac en ébullition avec de l'oxyde de cuivre et du cuivre métallique, on obtient souvent les paillettes blanches $2\,Cu^2Cl.\,AzH^3$, et plus souvent encore un mélange de cette combinaison avec les paillettes violettes $Cu^3Cl.^2AzH^3$, mélange qu'il est impossible de séparer en ses parties constituantes.

La poudre verte $Cu.\,Cl.\,AzH^3$, décrite plus haut, peut fixer de l'acide chlorhydrique et donner un chlorosel :



$$CuCl.\,AzH^4Cl.\,3\,HO.$$

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	45.3	44.7
Az...............	8.8	7.7
HO..............	16.9	16.7

M. Kane a déjà obtenu ce composé avec deux équivalents d'eau, il l'a observé en prismes droits à base carrée, tandis que mes cristaux se présentaient sous forme de lames rhomboïdales.

4. Quand on fait passer le gaz ammoniac bien desséché sur du chlorure de cuivre anhydre maintenu dans un bain d'eau froide, afin d'empêcher la température de s'élever, on obtient une troisième combinaison sous forme d'une poudre d'un beau bleu; elle présente la formule $Cu\,Cl.\,2\,AzH^3$.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	35.9	30.9
Cu...............	31.5	32.0
Az...............	28.0	26.0

On comprend que les analyses de ces substances extrêmement peu stables, soient très-délicates et ne donnent que des nombres approchant de ceux qu'exige la théorie.

M. Kane avait déjà proposé la combinaison $Cu\,Cl.\,2\,Az\,H^3\,HO$, en faisant passer un courant de gaz ammoniac dans une dissolution concentrée de chlorure de cuivre, nous avons aussi fait cette combinaison hydratée mais renfermant trois équivalents d'eau, elle se présente sous forme de beaux prismes bleus, on l'a obtenue en laissant s'évaporer sur de l'acide sulfurique une dissolution de chlorure de cuivre dans l'ammoniaque, la cloche renfermait encore un verre où s'évaporait de l'ammoniaque pour que l'atmosphère en fût toujours saturée.

Les beaux cristaux bleus analysés ont donné les nombres suivants :

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	28.4	28.2
Az...............	22.4	22.0
Cu...............	25.2	28.3

qui conduisent à la formule : $Cu\,Cl.\,2\,Az\,H^3\,3\,HO$.

Cette combinaison ou le produit vert $Cu\,Cl.\,2\,Az\,H^3$ se décomposent sous l'influence de l'acide chlorhydrique et ne donnent pas le chlorosel correspondant, ce qui est dû évidemment à leur peu de stabilité; ce chlorosel existe cependant et on peut le préparer indirectement; nous y sommes arrivés en dissolvant du protochlorure de cuivre dans l'acide chlorhydrique, en ajoutant du chlorhydrate d'ammoniaque et en laissant le tout exposé à l'air; ce sel se présente sous forme de cristaux verts et rhomboïdes groupés en étoiles, et présente la formule :


$$Cu\,Cl.\,2\,Az\,H^4\,Cl.\,3\,HO.$$

On a en effet :

	Calculé.	Trouvé.
Cu...............	15.7	14.1
Cl...............	52.9	55.2
Az...............	13.9	14.5
HO..............	13.4	»

5. Enfin le chlorure de cuivre paraît susceptible de donner une quatrième combinaison avec l'ammoniaque qu'on obtient en maintenant le chlorure à la température de —10°, tandis qu'on fait traverser la cornue par un courant de gaz ammoniac. Le produit est une poudre bleue qui dégage à l'air des torrents de gaz ammoniac ; on comprend donc que son analyse ne soit pas exacte, nous avons essayé cependant d'y déterminer l'azote de façon à

reconnaître si elle en renfermait plus que la combinaison précédente; on a trouvé en effet 30.6 p. 100 d'azote, il en faudrait 35.0 pour Cu. Cl. 3 Az H^3.

Cette formule toutefois se trouve confirmée par l'existence d'un chlorosel Cu. Cl. 3 Az H^4 Cl. 3 HO, obtenu dans les mêmes circonstances que le précédent et présentant une couleur analogue, son analyse a donné les résultats suivants :

	Calculé.	Trouvé.
Cu...............	12.1	12.7
Cl...............	55.7	56.6
Az...............	16.5	15.4

Malgré l'incorrection des analyses précédentes due à l'extrême instabilité des composés observés, on voit qu'à chaque combinaison de chlorure avec l'ammoniaque correspond un chlorosel, ainsi nous avons :

2 Cu Cl. Az H^3.	2 Cu Cl. Az H^4 Cl.
Cu Cl. Az H^3.	Cu Cl. Az H^4 Cl.
Cu Cl. 2 Az H^3.	Cu Cl. 2 Az H^4 Cl.
Cu Cl. 3 Az H^3.	Cu Cl. 3 Az H^4 Cl.

Toutefois la transformation directe du chlorure ammoniacal en chlorosel n'est possible que pour les deux premières combinaisons, les plus stables de la série; pour toutes les autres l'acide chlorhydrique ajouté détruit le groupement et donne des combinaisons plus simples, mais on peut toutefois arriver encore à obtenir des chlorosels correspondant par union directe des deux chlorures, ou du moins en favorisant l'union par l'action de l'oxygène transformant le protochlorure de cuivre en bichlorure.

On remarquera qu'outre la correspondance établie entre les chlorures ammoniacaux et les chlorosels que je considère comme le résultat le plus important de cette partie de mon travail, j'y ai indiqué l'existence d'un assez grand nombre de combinaisons nouvelles et que j'ai donné l'explication de la fixation de l'oxygène de l'air par le protochlorure de cuivre ammoniacal.

§ IV. Action de l'ammoniaque sur le chlorure de zinc.

Quand on ajoute à une dissolution concentrée de chlorure de zinc un excès d'ammoniaque, de façon à redissoudre le précipité qui se forme d'abord, on obtient par refroidissement une matière cristalline, qui affecte la forme de prismes; elle correspond à la formule 2 (Zn Cl. Az H^3) HO, elle est connue depuis longtemps. Nous avons toutefois répété son analyse.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	39.7	39.8
Zn	36.3	37.1
Az	15.0	15.7

Quand on traite le chlorure de zinc ammoniacal Zn Cl. Az H^3 par l'acide, on le métamorphose en un chlorosel admirablement cristallisé en longs prismes.

Ce sel a pour formule : Zn Cl. Az H^4 Cl.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	58.4	58.0
Az	11.5	11.9
Zn	26.7	26.2

Le chlorure de zinc ammoniacal Zn Cl. Az H^3 calciné, se fond en une masse gommeuse qui renferme encore une certaine quantité de gaz ammoniac, et qui répond à la formule : 2Zn Cl. Az H^3.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	46.4	45.4
Az	9.1	8.7
Zn	42 4	42.9

On remarquera sans doute la stabilité de ce composé qui ne perd plus d'ammoniaque bien qu'il soit calciné à une température élevée; cette fixité est bien différente de la facile décomposition que présentent en général les sels métalliques qui renferment de l'ammoniaque; la plupart du temps ces composés se détruisent sous l'influence de la chaleur en gaz ammoniac qui se dégage, tandis que le sel reste isolé. Cette fixité pourrait peut-être faire supposer que ce chlorure de zinc ammoniacal représente un groupement très-stable de l'azote, et qu'on pourrait le consi-

dérer non comme un chlorure de zinc ammoniacal, mais comme du chlorhydrate d'ammoniaque dans lequel représentant du zinc remplacerait un équivalent d'hydrogène.

La première combinaison du chlorure de zinc et du gaz ammoniac deviendrait :



$$Az \left\{ \begin{matrix} Zn \\ H \\ H \\ H \end{matrix} \right. \quad \text{et la seconde} \quad Az \left\{ \begin{matrix} Zn \\ H \\ H \\ H \end{matrix} \right. Cl.\,Zn\,Cl.$$

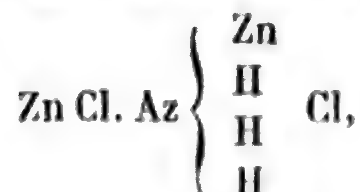
Tous les chimistes reconnaissent leur impuissance à indiquer le mode de groupement des atomes dans les combinaisons; aussi les formules ne doivent-elles pas avoir la prétention d'indiquer ces groupements, mais seulement de faire connaître *a priori* quelles sont les principales réactions auxquelles les composés formulés donneront naissance.

Or les deux formules indiquées plus haut présentent à mon avis deux inconvénients graves. En représentant le chlorure de zinc ammoniacal par du chlorure d'ammonium dans lequel le zinc remplace un équivalent d'hydrogène, on est immédiatement tenté de croire aux remplacements des autres équivalents d'hydrogène, ce qui n'a pas été fait jusqu'à présent. Nous avons nous-même essayé de faire agir le zinc métallique sur le sel ammoniac, ou encore l'oxyde de zinc sans arriver à faire pénétrer assez de zinc dans cette molécule pour qu'il nous ait été possible de croire à un remplacement.



Enfin en écrivant $Az \left\{ \begin{matrix} Zn \\ H \\ H \\ H \end{matrix} \right. Cl,$

On a devant les yeux du chlorure d'ammonium qui doit se comporter comme tel, sur lequel par conséquent l'acide chlorhydrique ne doit pas agir, et nous avons vu au contraire que cet acide chlorhydrique se fixe facilement sur le chlorure de zinc ammoniacal. Si on écrit le chlorure de zinc ammoniacal :

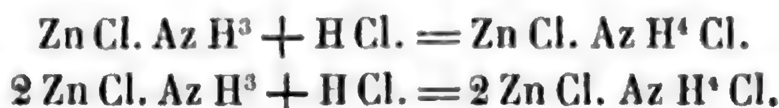


$$Zn\,Cl.\,Az \left\{ \begin{matrix} Zn \\ H \\ H \\ H \end{matrix} \right. Cl,$$

on croit encore rencontrer un corps complet, dont les affinités sont satisfaites, sur lequel, par conséquent, l'acide chlorhydrique doit être sans action, ce qui n'a pas lieu encore puisque l'acide chlorhydrique métamorphose la combinaison jaune fondue décrite plus haut en un chlorosel 2 Zn Cl. Az H^4 Cl, ainsi que le le montre l'analyse suivante :

	Calculé.	Trouvé.	
Cl	56.0	55.9	55.8
Zn	34.4	34.1	
Az	7.7	6.6	

Ainsi les deux chlorures de zinc ammoniacaux se transforment en chlorosels par fixation d'acide chlorhydrique d'après les équations suivantes :



$$\text{Zn Cl. Az H}^3 + \text{H Cl.} = \text{Zn Cl. Az H}^4\ \text{Cl.}$$
$$2\ \text{Zn Cl. Az H}^3 + \text{H Cl.} = 2\ \text{Zn Cl. Az H}^4\ \text{Cl.}$$

§ V. Action du gaz ammoniac sur le protochlorure et le bichlorure d'étain.

1. Quand on fond dans une cornue tubulée le protochlorure d'étain, puis qu'on fait passer du gaz ammoniac sec, on obtient une réaction assez vive; le protochlorure d'étain change d'aspect, noircit, se boursoufle parfois jusqu'à passer dans le récipient si la cornue est d'une faible capacité.

Le produit obtenu perd un peu de gaz ammoniac par la calcination, il correspond à la formule :



$$\text{Sn Cl. Az H}^3.$$

	Calculé.	Trouvé.	
Sn	52.8	52.9	51.2
Az	12.0	11.7	

Cette matière blanc jaunâtre traitée par l'acide chlorhydrique se dissout et donne naissance à un beau chlorosel en aiguilles décrit depuis longtemps, très-facile à reconnaître, mais que nous avons cru cependant devoir caractériser par l'analyse. Il a pour formule : Sn Cl. Az H^4 Cl.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	39.8	40.7
Az	9.7	9.2

Ainsi la transformation du protochlorure d'étain ammoniacal en chlorostannite d'ammonium par l'acide chlorhydrique est parfaitement démontrée, et on peut écrire :



$$Sn\,Cl.\,Az\,H^3 + H\,Cl. = Sn\,Cl.\,Az\,H^4\,Cl.$$

Il faut se garder, quand on fait cette transformation, de laisser trop longtemps la liqueur chlorhydrique exposée à l'action de l'air, car on transformerait le chlorostannite en chlorostannate d'après la formule ;



$$Sn\,Cl.\,Az\,H^4Cl. + H\,Cl. + O = HO + Sn\,Cl.^2Az\,H^4\,Cl.$$

qu'on voit bientôt se déposer sous forme de petits octaèdres parfaitement définis ; c'est là un bon exemple à citer dans un cours de surchloruration obtenue sous l'influence de l'oxygène de l'air.

2. Le bichlorure d'étain se combine aussi très-facilement avec le gaz ammoniac ; il se produit, au moment où la réaction a lieu, un fort dégagement de chaleur ; cette combinaison est sans doute la première qui ait été obtenue, car elle est décrite dans le mémoire où sir H. Davy venant apporter un appui solide aux idées timidement émises par Gay-Lussac et Thénard, triomphe de l'opinion généralement admise alors sur la complexité du chlore et fait définitivement ranger ce corps parmi les corps simples.

La combinaison du gaz ammoniac avec le bichlorure d'étain se fait facilement quand on dirige le gaz sec dans le chlorure anhydre placé dans une cornue tubulée ; il n'y a pas élimination de sel ammoniac, la combinaison obtenue renferme intégralement le chlorure et le gaz ammoniac, elle doit se formuler :



$$Sn\,Cl.\,^2Az\,H^3.$$

	Calculé.	Trouvé.
Sn...............	40.2	38.2
Cl...............	48.3	48.3

Traitée par l'acide chlorhydrique, cette combinaison fixe les éléments de cet acide et donne le chlorostannate d'ammonium décrit depuis longtemps par Lévy, et dont les cubo-octaèdres sont tellement reconnaissables, qu'on s'est contenté d'y doser l'azote. La théorie exige 7.6 d'azote, on a trouvé 7.0.

On peut donc encore représenter cette réaction par l'équation suivante :



$$Sn\,Cl.\,^{2}Az\,H^{3} + H\,Cl. = Sn\,Cl.\,^{2}Az\,H^{4}Cl.$$

VI. Action du gaz ammoniac sur les chlorures d'antimoine.

1. Si on fait fondre du protochlorure d'antimoine anhydre dans une cornue tubulée, et qu'on fasse réagir sur lui du gaz ammoniac sec amené par un tube qui arrive seulement au niveau du chlorure sans pénétrer dans la masse, on obtient une première combinaison, noire, très-dure, non déliquescente, qui ne perd pas de gaz ammoniac, même à une température élevée. Cette combinaison se décompose par l'eau et donne un précipité blanc; mais, en évaporant l'eau mère, on obtient généralement des cristaux octaédriques jaunâtres, qui paraissent correspondre à la formule $Sb\,Cl^{5}.\,4\,Az\,H^{4}Cl.$; nous reviendrons plus loin sur ce composé.

La première combinaison que forme le gaz ammoniac et le protochlorure d'antimoine doit se formuler : $Sb\,Cl.^{3}Az\,H^{3}$.

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	42.1	42.4
Az...............	5.5	5.5

Il est probable que M. H. Rose, qui a étudié l'action du gaz ammoniac sur les chlorures d'antimoine, n'a obtenu cette combinaison que mélangée avec une autre; car il y a trouvé une quantité de gaz ammoniac plus grande que celle qu'exige la formule précédente.

Le protochlorure d'antimoine mono-ammoniacal se dissout dans l'acide chlorhydrique et laisse cristalliser de longues aiguilles d'un jaune foncé, très-déliquescentes, et qu'il faut sécher dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique; elles se décomposent assez facilement, en donnant du perchlorure d'antimoine libre et un chlorosel plus riche en ammoniac. Le sel en aiguilles non encore décrit peut être aussi obtenu directement, par combinaison du protochlorure d'antimoine avec le sel ammoniac; il présente la formule :



$$Sb\,Cl.^{3}Az\,H^{4}\,Cl.$$

	Calculé.	Trouvé.
Cl	49.1	48.7
Az	4.8	4.4

On peut donc représenter la transformation du protochlorure d'antimoine ammoniacal en chlorosel par l'équation :



$$Sb\,Cl.^{3}Az\,H^{3} + H\,Cl. = Sb\,Cl.^{3}Az\,H^{4}Cl.$$

2. On peut encore combiner le protochlorure d'antimoine à une quantité de gaz ammoniac double, en amenant le gaz par un tube dans le protochlorure fondu ; la combinaison se présente sous forme d'une masse blanche non cristalline ; elle se fige parfois sur les parois de la cornue en gouttelettes transparentes ; cette combinaison est assez stable ; elle présente la formule $Sb\,Cl^{3}.\,2\,Az\,H^{3}$.

	Calculé.	Trouvé.
Cl	39.4	40.2
Az	10.3	10.0

Le protochlorure d'antimoine biammoniacal n'avait pas encore été décrit ; il se dissout facilement dans l'acide chlorhydrique et se transforme en belles lamelles jaunes hexagonales, obtenues déjà par M. Jacquelain, qui leur avait assigné la formule $Sb\,Cl.^{3}\,2\,Az\,H^{4}Cl.$, que nos analyses confirment :

	Calculé.	Trouvé.	
Sb	37.6	38.4	
Cl	51.8	51.6	52.2
Az	8.1	8.9	

Perchlorure d'antimoine. — M. H. Rose a étudié l'action du gaz ammoniac sur le perchlorure d'antimoine ; il a trouvé une combinaison d'un rouge brun, qu'il a formulée $Sb\,Cl^{5}.\,2\,Az\,H^{3}$.

J'ai préparé également cette combinaison en faisant passer du gaz ammoniac sec dans le perchlorure d'antimoine ; mais j'ai obtenu très-difficilement ce corps à l'état de pureté. En effet, pour peu que la température s'élève, cette combinaison se détruit et donne la matière blanche, $Sb\,Cl^{3}.\,2\,Az\,H^{3}$, décrite plus haut, qu'on rencontre au reste presque toujours dans les produits de l'action du gaz ammoniac sur le protochlorure d'antimoine.

Je n'ai pu, malgré de nombreux essais, avoir qu'un seul do-

sage conduisant à une formule, c'est un dosage d'azote; j'ai trouvé dans 100 parties 11.3 d'azote; la formule $SbCl^5.3AzH^3$ exige 11.7.

La réaction qu'exerce, au reste, sur la combinaison rouge, l'acide chlorhydrique, ne permet pas de douter que telle soit la formule. Quand on dissout ce perchlorure d'antimoine ammoniacal dans l'acide chlorhydrique, on obtient par évaporation de belles lames rouges hexagonales qui présentent la formule :



$$SbCl^5.\,3\,AzH^4Cl.$$

	Calculé.	Trouvé.
Sb..............	32.6	32.9
Cl..............	53.5	54.5
Az..............	10.6	10.5

On pourra donc encore écrire la réaction.



$$Sb\,Cl^5.\,3\,AzH^3 + 3\,HCl. = SbCl^5.\,3\,AzH^4Cl.$$

On peut obtenir ce sel par deux autres méthodes : 1° en calcinant dans une cornue le perchlorure d'antimoine triammoniacal, il distille un liquide blanc jaunâtre, qui ne tarde pas à se figer sous forme d'aiguilles, qui paraissent être $Sb\,Cl^3.\,AzH^4\,Cl.$, et il se forme en même temps le chlorosel $SbCl^5.\,3\,AzH^4\,Cl.$, dont les lames hexagonales rouges apparaissent avec la plus grande netteté.

Si l'on mélange avec du chlorhydrate d'ammoniaque de vieux résidus provenant de la préparation de l'hydrogène sulfuré par le sulfure d'antimoine et l'acide chlorhydrique, on obtient encore cette combinaison.

Au moment où le sulfure d'antimoine se dissout dans l'acide chlorhydrique, il ne se forme que le protochlorure d'antimoine $Sb\,Cl^3.$; mais si on laisse ce corps exposé à l'air, il change de teinte; de jaune qu'il était, il devient rouge foncé en se transformant en perchlorure. On peut admettre la réaction suivante :



$$Sb\,Cl^3. + 2\,HCl. + 2\,O = Sb\,Cl^5. + 2\,HO,$$

analogue à celle que nous avons citée plus haut quand nous avons parlé de la transformation du protochlorure d'étain en perchlorure.

Le groupement $Sb\,Cl.^5$ paraît cependant moins stable que $Sb\,Cl^3.$; ainsi il m'est souvent arrivé, en distillant du protochlorure d'antimoine anhydre, de voir se déposer dans la cornue du

protochlorure d'antimoine en même temps qu'il se dégageait du chlore, et M. Lecarme, qui prépare au collége Chaptal les cours dont je suis chargé et qui a bien voulu me préparer des quantités considérables de perchlorure d'antimoine, a fait la même observation.

On remarquera au reste que sous l'influence du gaz ammoniac le perchlorure d'antimoine perd encore facilement du chlore, pour donner $Sb\,Cl^3.\,2\,Az\,H^3$.

Quand on fait agir le gaz ammoniac sur le perchlorure d'antimoine, on obtient encore un autre composé plus volatil que le précédent et qui vient se condenser dans la cornue placée à la suite de ce récipient. Ce produit blanc, très-léger, perd facilement une partie de son ammoniac, il présente la formule :



$$Sb\,Cl^5.\,4\,Az\,H^3.$$

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	47.4	47.8
Az...............	15.0	13.8

Traité par l'acide chlorhydrique, ce chlorure ammoniacal fixe cet acide et donne de beaux octaèdres jaune doré qui présentent sans doute la formule $Sb\,Cl^5.\,4\,Az\,H^4Cl$. Ces deux combinaisons sont, au reste, difficiles à obtenir pures; elles renferment souvent un excès d'ammoniac qui masque leur véritable nature.

§ VII. Chlorures de bismuth.

Quand on fait passer un courant de chlore sur du bismuth métallique placé dans une cornue de verre et chauffé jusqu'à fusion, on obtient habituellement un corps noir peu volatil, dont l'existence a été signalée il y a déjà quelque temps par M. Weber[1], qui lui assigne la formule $Bi\,Cl^2$. Cette formule exige :

	Calculé.	Trouvé.	
Bi...........	74.7	74.8	»
2Cl..........	25.3	25.2	25.5

Notre analyse confirme donc les rapports de 1 à 2, dans les-

1. *Répertoire de chimie pure*. 1860, p 12.

quels le bismuth et le chlore sont combinés; toutefois l'étude que nous avons faite de cette substance, nous conduit à doubler cette formule et à l'écrire $Bi^2Cl.^4$.

Si, en effet, on soumet à l'action du feu le chlorure noir de M. Weber, on obtient bien le trichlorure de bismuth $BiCl^3$., connu depuis longtemps, et du bismuth métallique, ainsi que l'a établi M. Weber; mais on trouve toujours en même temps une substance grise, en poudre cristalline nacrée, très-douce au toucher, qu'il est au premier abord assez difficile d'obtenir exempte de bismuth métallique. J'ai fini cependant par me procurer une petite quantité de matière pure, et j'y ai dosé le chlore et le bismuth. La somme des poids de ces deux matières étant loin de représenter celui que j'avais pris, j'eus alors l'idée que cette substance était un oxychlorure; en la réduisant par l'hydrogène, il me fut facile en effet de constater la présence de l'eau.

La préparation de ce nouveau corps était dès lors nettement indiquée; au lieu de calciner le bichlorure de bismuth au fond d'un tube ou dans une cornue à l'abri du contact de l'air, ainsi qu'on avait fait d'abord, il faut le calciner dans une cornue à l'air libre; c'est ce que j'ai fait. Il distille dans ces conditions une grande quantité de chlorure $BiCl^3$., et il reste dans la capsule une matière qui, noire à la surface mal chauffée, est formée à l'intérieur d'une masse blanche cristalline, brillante, très-douce au toucher; c'est un oxychlorure dont l'analyse conduit à la formule $BiClO^3$. En effet :

	Calculé.	Trouvé.		
Cl	13.1	12.8	12.5	13.3
Bi	78.0	78.8	78.8	»
O	8.9	»	»	»

Cette nouvelle matière serait donc le chlorure noir de M. Weber:

$$Bi^2 \left\{ \begin{array}{l} Cl. \\ Cl. \\ Cl. \\ Cl. \end{array} \right.$$

, dans lequel 3 équivalents d'oxygène se seraient substitués à trois équivalents de chlore, pour donner :

$$Bi^2 \left\{ \begin{array}{l} Cl. \\ O. \\ O. \\ O. \end{array} \right.$$

; nouvel exemple de la substitution de l'oxygène au

chlore, fréquent dans la famille de l'azote; nous avons notamment : $P \left\{ \begin{array}{l} Cl. \\ Cl. \\ Cl. \\ O. \\ O. \end{array} \right.$, l'oxychlorure de phosphore.

Il n'est pas possible de combiner le chlorure noir de bismuth Bi^2Cl^4. aux chlorobases non plus qu'à l'ammoniaque.

Les chimistes, qui veulent considérer tous les chlorures comme des sels, auront sans doute quelque peine à expliquer cette indifférence d'action de bichlorure de bismuth; ceux qui, au contraire, comme je soutiens, depuis plusieurs années, qu'il le faut faire, veulent séparer les chlorures en acides, bases, chlorures indifférents, singuliers et salins, de la même façon que les oxydes et les sulfures, trouveront, dans la neutralité de ce chlorure $Bi^2Cl.^4$ et dans sa transformation en un acide $Bi.Cl.^3$, par fixation de chlore, exactement les mêmes relations qu'entre le bioxyde d'azote ou le peroxyde de manganèse, se transformant en acides par fixation d'oxygène, et trouveront sans doute que ce composé doit être rangé dans la classe des chlorures singuliers.

Quand on fait passer un courant de chlore sec sur le chlorure noir de M. Weber, $Bi.Cl^4.$, pour le transformer en chlorure blanc, $Bi.Cl.^3$, il arrive souvent qu'on trouve dans la cornue un produit rouge jaunâtre; c'est un nouveau chlorure de bismuth, qui n'a pas encore été décrit, et dont la formule correspond à Bi^3Cl^8. En effet :

	Calculé.	Trouvé.	
Bi............	68.9	68.1	»
Cl............	31.1	30.6	30.9

Ce chlorure est décomposable par l'eau; dissous dans l'acide chlorhydrique, il donne avec les chlorobases des sels identiques à ceux que fournit le terchlorure $BiCl.^3$; ce n'est donc pas un chloracide. Les réactions qu'il donne sous l'influence du feu le rangent plutôt, au reste, parmi les chlorures salins. En effet, lorsqu'il est chauffé, ce chlorure se décompose en chlore, chlorure blanc, $BiCl.^3$, et chlorure noir, $Bi^2Cl.^4$, d'après l'équation suivante :



$$Bi^3Cl^8. = Cl. + BiCl^3. + Bi^2Cl^4.$$

Ainsi, ce composé paraîtra formé par la combinaison des deux chlorures blanc et noir soudés par un excès de chlore, et on pourrait, jusqu'à un certain point, le considérer comme le représentant, parmi les chlorures, du groupe intéressant formé dans les combinaisons oxygénées par les oxydes salins.

Le chlorure blanc de bismuth $Bi\,Cl^3$. se combine très-nettement avec les chlorobases et avec l'ammoniaque.

Quand on fait passer un courant de gaz ammoniac sec sur le chlorure blanc, auquel on peut donner le nom plus rationnel d'acide chlorobismeux, après l'avoir placé dans une cornue de verre tubulé, on obtient trois produits différents : l'un, très-volatile, est entraîné dans le récipient tubulé qui termine l'appareil; les deux autres restent mélangés dans la cornue : l'un est rouge foncé, l'autre d'un vert sale.

La substance rouge est stable quand elle n'est pas humide; elle résiste assez bien à l'action du feu, fond et cristallise par refroidissement en cristaux d'un rouge violacé; sa composition correspond à la formule $2\,Bi\,Cl^3.\,Az\,H^3$, qui exige :

	Calculé.	Trouvé.	
Cl............	32.5	32.5	»
Az............	2.1	2.0	2.3

Quand on traite cette matière par l'acide chlorhydrique, elle fixe cet acide et fournit un chlorosel correspondant, $2\,Bi\,Cl^3.\,AzH^4\,Cl$, qui cristallise en aiguilles déliquescentes et qui est peu coloré.

Ce chlorure renferme :

	Calculé.	Trouvé.
Cl................	36.3	34.8
Az................	2.0	2.2

Nous avons donc l'équation :



$$2\,Bi\,Cl^3.\,AzH^3. + H\,Cl. = 2\,Bi\,Cl^3.\,AzH^4\,Cl.$$

La seconde combinaison de l'acide chlorobismeux avec l'ammoniaque, est difficile à obtenir à l'état de pureté; elle est souvent mélangée avec la combinaison rouge. On ne peut que les séparer mécaniquement, ce qui est difficile; aussi les dosages que nous avons faits dans ce composé s'éloignent-ils des nombres qu'indique la théorie· on trouve toujours un défaut dans l'azote

qui tient évidemment au mélange de 2 $BiCl^3.AzH^3$. avec la seconde combinaison qui doit se formuler $BiCl^3.2AzH^3$.

Nous avons obtenu :

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	30.4	29.6
Az...............	8.0	6.0

Bien que l'analyse précédente soit très-mauvaise, je n'hésite pas sur la formule qui appartient à la substance verte, car elle se transforme avec la plus grande netteté en chlorosel $BiCl^3$. $2AzH^4Cl$., très-facile à obtenir à l'état de pureté et dont la formule n'est pas douteuse. Nous avons donc encore :



$$BiCl^3.2AzH^3 + 2HCl. = BiCl^3.2AzH^4Cl.$$

Le chlorosel se présente sous forme de lames hexagonales blanches ou légèrement jaunâtres. Il a déjà été décrit par M. Jacquelain et soumis à l'appréciation de Dufrénoy, qui a reconnu son isomorphisme avec le sel correspondant d'antimoine.



$$SbCl^3.2AzH^4Cl.$$

Cette détermination a dès-lors indiqué quelques rapprochements entre le bismuth et l'antimoine. On sait, au reste, que M. Nicklès a confirmé récemment cette opinion par l'étude très-soignée des iodosels et bromosels de ces deux métaux [1].

Le chlorobismite de diammonium obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique sur le chlorure ammoniacal correspondant, présente bien la formule $BiCl^3.2AzH^4Cl$., on a en effet :

	Calculé.	Trouvé.	
Cl.............	41.8	41.1	»
Az.............	6.6	7.0	6.3

La troisième combinaison de l'acide chlorobismeux et de l'ammoniaque est blanche, volatile, et se laisse facilement entraîner par un courant de gaz ammoniac ; elle présente la formule :



$$BiCl^3.3AzH^3.$$

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	29.0	28.4
Az...............	11.4	10.9

1. *Sur les relations d'isomorphisme qui existent entre les métaux du groupe de l'azote*, par M. J. Nicklès. Nancy, 1862.

Cette combinaison traitée par l'acide chlorhydrique fixe trois équivalents de cet acide, et se transforme en chlorosel.



$$Bi\,Cl^3.\,3\,Az\,H^3 + 3\,H\,Cl. = Bi\,Cl^3.\,3\,Az\,H^4\,Cl.$$

Corps très-bien cristallisé en lames rhomboïdales, et qui a été décrit par M. Arppe[1]. Nous avons pu obtenir quelques tables de ce sel qui ont près de 1 centimètre de côté; c'est un des beaux chlorosels que nous ayons préparé.

La formule de ce composé est établie d'après les dosages suivants :

	Calculé.	Trouvé.
Cl...............	44.5	46.3
Az...............	8.8	8.6

Nous avons encore préparé quelques chlorosels de bismuth; l'un, décrit par M. Rammelsberg[1], présente la formule $2\,Bi\,Cl^3.\,5\,Az\,H^4\,Cl.$; il affecte la forme de doubles pyramides. Les cristaux sont, ainsi que l'a remarqué M. Rammelsberg, très-souvent maclés. La formule citée plus haut exige 42.9, on a trouvé précisément 42.9.

On remarquera que l'acide chlorobismeux, comme beaucoup des acides de la famille de l'azote, est poly-atomique. Lorsqu'on combine cet acide avec 3 équivalents de sel marin, on obtient une substance en lames hexagonales de la formule $BiCl^3.3Na.Cl.$, qui doit renfermer 42.7. On a trouvé 42.5.

Le chlorosel $Bi\,Cl^3 \begin{cases} Az.\,H^4.\,Cl. \\ Az.\,H^4.\,Cl. \\ K\,Cl. \end{cases}$ cristallise également en lames rhomboïdales. Il doit renfermer 42.3 de chlore; nous y avons trouvé 41.5.

§ VIII. Action de l'ammoniaque sur le chlorure de Nickel.

Le chlorure de Nickel, employé dans ces expériences, a été obtenu en brûlant du nickel dans un courant de chlore; la ma-

1. *Répertoire de chimie pure*, t. I, p. 290.
2. *Répertoire de chimie pure*, t. I, p. 290.

tière obtenue apparaît sous forme d'un beau corps jaune d'or, en paillettes ayant quelque ressemblance d'aspect avec l'or mussif; on a aussi employé le chlorure de nickel, obtenu par voie humide, en attaquant le métal par l'acide chlorhydrique ou par l'eau régale.

En dissolvant le chlorure de nickel dans l'ammoniaque caustique, on obtient, d'après M. Erdmann, une combinaison en octaèdres d'un bleu violacé, qui présente la formule $NiCl.3AzH^3$; nous n'avons pas réussi à préparer cette combinaison en agissant à la pression ordinaire, mais en enfermant, dans des tubes qu'on scelle ensuite à la lampe, de l'ammoniaque et du chlorure de nickel, on a obtenu la matière bleue octaédrique très-instable, très-difficile à sécher, et qui perd facilement de l'ammoniaque lorsqu'elle est placée sous le vide pneumatique. Cette matière présente la formule :



$$NiCl.3AzH^3.HO.$$

	Calculé.	Trouvé.
Cl	28.4	28.6
Az	33.5	34.1

Le petit excès d'azote provient probablement d'une petite quantité d'ammoniaque qui reste interposée dans la matière qui a cristallisé dans une liqueur ammoniacale.

On a essayé de préparer directement le chlorure de nickel ammoniacal en faisant passer le gaz ammoniac sur le chlorure de nickel; mais il est impossible d'obtenir ainsi une combinaison complète; il reste toujours dans la masse du chlorure de nickel non attaqué; aussi les dosages ne concordent-ils pas avec ce qu'exige la théorie.

Toutefois le chlorure de nickel ammoniacal obtenu par voie sèche ou par voie humide se transforme sous l'influence de l'acide chlorhydrique en un beau chlorosel en cubes jaunes, qui présente la formule $NiCl.3AzH^4Cl.$; en effet :

	Calculé.	Trouvé.
Cl	62.8	62.7
Az	18.5	18.3

On a donc encore l'équation :



$$NiCl.3AzH^3 + 3HCl. = NiCl.3AzH^4Cl.$$

§ IX. Chlorure de thallium.

Qu'il me soit permis, avant d'abandonner ce sujet, de rappeler que, dans la séance du 12 juin 1863, M. Wilm a présenté à la Société chimique les résultats de ses recherches relatives à l'action de l'ammoniaque sur le perchlorure de thallium, et qu'il a obtenu un composé de la forme : $TlCl.^3\,3\,AzH^3$, qui, traité par l'acide chlorhydrique, a donné naissance au chlorosel correspondant, nous avons donc encore l'équation :

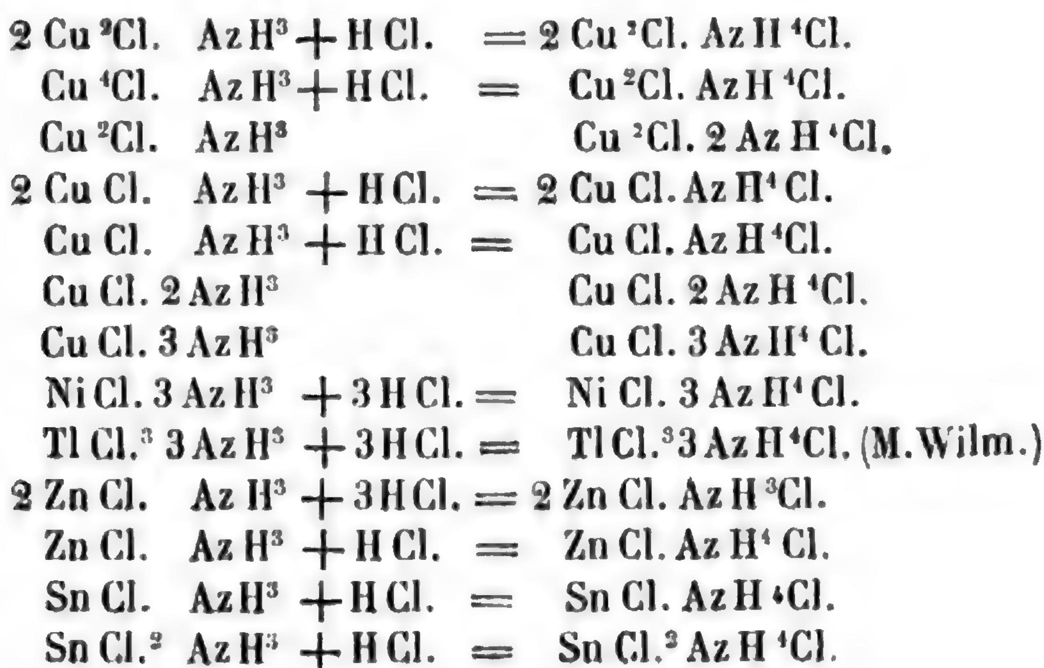


$$TlCl.^3\,3\,AzH^3 + 3\,HCl. = TlCl.^3\,3\,AzH^4Cl.$$

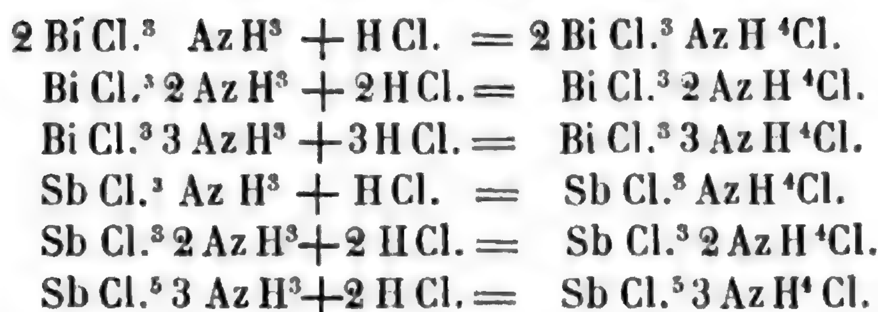
§ X. Résumé et conclusion.

Nous n'avons pas poussé plus loin la première partie de nos recherches sur les combinaisons de l'ammoniaque avec les chlorures ; mais, avant de conclure, on nous permettra de résumer les travaux que nous avons exécutés sur ces combinaisons; il ressort de ces travaux :

1° Qu'à chaque combinaison ammoniacale correspond un chlorosel, qui peut être obtenu la plupart du temps par l'action de l'acide chlorhydrique sur le composé ammoniacal ; c'est ainsi que nous avons :



$$2\,Cu^2Cl.\ AzH^3 + HCl. = 2\,Cu^2Cl.\ AzH^4Cl.$$
$$Cu^4Cl.\ AzH^3 + HCl. = Cu^2Cl.\ AzH^4Cl.$$
$$Cu^2Cl.\ AzH^3 \qquad Cu^2Cl.\ 2\,AzH^4Cl.$$
$$2\,CuCl.\ AzH^3 + HCl. = 2\,CuCl.\ AzH^4Cl.$$
$$CuCl.\ AzH^3 + HCl. = CuCl.\ AzH^4Cl.$$
$$CuCl.\ 2\,AzH^3 \qquad CuCl.\ 2\,AzH^4Cl.$$
$$CuCl.\ 3\,AzH^3 \qquad CuCl.\ 3\,AzH^4Cl.$$
$$NiCl.\ 3\,AzH^3 + 3\,HCl. = NiCl.\ 3\,AzH^4Cl.$$
$$TlCl.^3\,3\,AzH^3 + 3\,HCl. = TlCl.^3\,3\,AzH^4Cl.\ \text{(M. Wilm.)}$$
$$2\,ZnCl.\ AzH^3 + 3\,HCl. = 2\,ZnCl.\ AzH^3Cl.$$
$$ZnCl.\ AzH^3 + HCl. = ZnCl.\ AzH^4Cl.$$
$$SnCl.\ AzH^3 + HCl. = SnCl.\ AzH^4Cl.$$
$$SnCl.^2\ AzH^3 + HCl. = SnCl.^2\ AzH^4Cl.$$



$$2\,Bi\,Cl^3\ Az\,H^3 + H\,Cl. = 2\,Bi\,Cl^3\ Az\,H^4Cl.$$
$$Bi\,Cl^3\ 2\,Az\,H^3 + 2\,H\,Cl. = Bi\,Cl^3\ 2\,Az\,H^4Cl.$$
$$Bi\,Cl^3\ 3\,Az\,H^3 + 3\,H\,Cl. = Bi\,Cl^3\ 3\,Az\,H^4Cl.$$
$$Sb\,Cl^3\ Az\,H^3 + H\,Cl. = Sb\,Cl^3\ Az\,H^4Cl.$$
$$Sb\,Cl^3\ 2\,Az\,H^3 + 2\,H\,Cl. = Sb\,Cl^3\ 2\,Az\,H^4Cl.$$
$$Sb\,Cl^5\ 3\,Az\,H^3 + 2\,H\,Cl. = Sb\,Cl^5\ 3\,Az\,H^4\,Cl.$$

2° Que dans aucun de ces composés on n'a rencontré de remplacement de l'hydrogène de l'ammoniaque par un chlorure ou par un métal, et qu'il faut seulement considérer ces combinaisons comme produit par l'accolement du chlorure au gaz ammoniac.

Ces faits étant posés, il nous reste à les interpréter.

Ou bien les chlorures que nous avons étudiés sont des acides anhydres, qui, en s'unissant au gaz ammoniac, donnent des chloramides, ou bien les chlorures sont des sels qui, en s'unissant au gaz ammoniac, donnent des sels ammoniés.

Pour nous prononcer entre ces deux manières de voir, il nous faut examiner ce qu'est une amide et ce qu'est un sel ammonié; une amide résulte de la combinaison d'un acide anhydre et du gaz ammoniac; il arrive généralement, au moment où la combinaison s'effectue que de l'eau se sépare, de telle sorte que l'amide appartient encore à la formule $Az \left\{ \begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} \right.$, et peut se formuler $Az \left\{ \begin{matrix} R \\ H \\ H \end{matrix} \right.$, R étant le radical oxygéné. C'est ainsi que l'acétamide

peut se formuler : $$Az \left\{ \begin{matrix} C^4\,H^3\,O^2 \\ H \\ H \end{matrix} \right. ,$$

l'oxamide : $$Az^2 \left\{ \begin{matrix} C^4\,O^4 \\ H^2 \\ H^2 \end{matrix} \right.$$

Toutefois il est quelques amides qui ne présentent pas cette formule et qui résultent de l'union directe du gaz ammoniac et de l'acide; c'est ainsi que M. H. Rose a obtenu les composés $C\,O^2\,Az\,H^3$, $S\,O^3\,Az\,H^3$; que M. Jacquelain a produit cristallisé à l'état de pureté le composé $3\,(Az\,H^3)\,4\,S\,O^3$; ces amides appar-

tiennent donc au même mode de formation que les combinaisons des chlorures avec l'ammoniaque et nous voyons que la formule proposée par Gerhardt ne s'applique pas à tous les cas. Si donc pour faire rentrer dans la classe des amides les combinaisons oxygénées précédentes, nous revenons à l'ancienne définition des amides, si nous disons : *une amide est une combinaison d'un acide anhydre et d'ammoniaque susceptible de fixer les éléments de l'eau pour former le sel ammoniacal correspondant;* nous voyons que les combinaisons des chlorures avec l'ammoniaque forment très-naturellement le groupe des chloramides, puisqu'elles donnent la plupart du temps un chlorosel par fixation d'acide chlorhydrique, et qu'à toutes correspond un chlorosel.

Toutefois, avant d'admettre cette conclusion, il importe de voir si les sels ammoniés traités par l'acide qu'ils renferment déjà donnent des résultats semblables à ceux que fournissent les chlorures. L'ammoniaque se fixe sur les sels en général avec une énergie médiocre, elle s'en sépare facilement, et l'action de l'acide qui se trouve déjà dans le sel, au lieu de donner naissance à une nouvelle combinaison, sépare l'ammoniaque pour former avec elle un sel ammoniacal qui cristallise séparément; aussi c'est ce qu'on peut démontrer facilement avec le sulfate de cuivre ammoniacal de M. Kane, $SO^3CuO.2AzH^3$, qui, préparé à l'état de pureté, a été décomposé par l'acide sulfurique étendu; c'est encore ce qu'on a trouvé avec le sulfate de zinc ammoniacal. Les azotates de cuivre, de zinc ammoniacaux présentent encore les mêmes résultats; on n'a jamais pu observer qu'avec les chlorures le fait capital, saillant qui ressort de ces recherches, fixation de l'acide contenu dans la combinaison pour compléter le sel ammoniacal. On peut très-bien comparer les sels ammoniés, dans lesquels, bien entendu, il n'existe pas de bases ammoniaco-métalliques, à des sels renfermant de l'eau de cristallisation; le sulfate ou l'azotate de cuivre ammoniacaux seraient comparables au sous-acétate de plomb, au gypse, etc., sels qui renferment tous une quantité de base en excès, base qui se sépare facilement du groupe salin par l'action de la chaleur ou par celle des acides. C'est souvent ce qui n'a pas lieu avec les chlorures, surtout avec ceux qui présentent l'ensemble des propriétés des acides, notamment les chlorures de zinc, d'étain, d'antimoine; les combinaisons fournies par le chlorure de cuivre sont moins

stables, sans doute; aussi conviendrait-il de placer ce chlorure parmi les chloracides faibles, analogues aux acides oxygénés peu énergiques qui jouent parfois le rôle de base, comme le fait notamment l'acide borique dans la crême de tartre soluble.

Nous voyons donc que les chlorures ammoniacaux susceptibles de fournir, par addition d'acide chlorhydrique, des chlorosels, forment un genre parfaitement défini, auquel nous donnerons dorénavant le nom de *chloramides*.

Il nous resterait sans doute, avant d'abandonner ce sujet, à nous occuper des combinaisons que fournissent les chlorures métalloïdes, tels que les chlorures de silicium, de phosphore, d'arsenic, d'iode, etc., avec le gaz ammoniac; mais les réactions qui se produisent, quand on met ces matières en contact, sont très-complexes, et bien que nous ayons déjà consacré à leur étude beaucoup de temps, nous ne sommes pas arrivés à des résultats assez précis pour qu'il y ait intérêt aujourd'hui à les publier.

Les recherches sur les chloramides commencées en 1861, abandonnées à différentes reprises, mais toujours reprises, nous ont occupés pendant l'espace de deux ans, et plusieurs des jeunes chimistes qui ont travaillé sous notre direction depuis l'origine de ces études, nous ont prêté un concours dont nous sommes heureux de les remercier; M. Anatole Bourgougnon, M. H. Morin, M. Gaston Tissandier, et surtout M. Camille Arnoul, dont le nom est revenu plusieurs fois dans ce travail, nous ont été particulièrement utiles. Enfin, nous devons aussi remercier M. Lecarme, préparateur de chimie au collége Chaptal, d'avoir bien voulu nous préparer des quantités notables des matières employées dans ces expériences.

LA PHOTOGRAPHIE

EN 1864,

PAR M. ERNEST SAINT-EDME.

L'Exposition de 1864 prouve une fois de plus l'état progressif de l'Art photographique; l'*Art*, avons-nous dit, et nous maintenons l'expression, car ses véritables adeptes impriment à leurs œuvres un cachet auquel les connaisseurs ne peuvent se tromper. S'il est possible à chacun de tirer un portrait par la photographie, parviendra-t-il, à coup sûr, même en suivant le meilleur guide et en employant l'appareil le plus précis, à exécuter une œuvre comparable à celles qu'exposent Bertall, Carjat, Numa-Blanc, Crémière? Certes non, à moins qu'il ne soit déjà artiste ou doué exceptionnellement.

Le savoir théorique ne suffit donc pas; il faut encore la pratique et, surtout, l'intelligence artistique. Or, cette dernière faculté est innée, elle n'est pas le fruit de l'étude. Ces réflexions s'appliquent surtout aux *paysagistes*, qui persistent à rester inférieurs aux *portraitistes*. Il faut être peintre pour décider l'instant de la pose, choisir le moment où l'éclairage est favorable aux fonds du tableau, à la distinction des tons, à la formation des horizons. Or, que voit-on le plus souvent? Un rideau noir constitue le fond du tableau, et toutes les portions éclairées sont sur un même plan, séparées l'une de l'autre par des taches plus ou moins noires. Cependant, il faut reconnaître que, grâce aux méthodes dites « au tannin » l'exécution du paysage tend à s'améliorer. On consultera avec intérêt, sur ce sujet, les travaux du major Russel, le traité spécial de M. de Brébisson et les observations de M. Sutton et de M. Kemp qui sont enregistrées *in extenso* dans le *Bulletin de la Société française de photographie*.

M. Blanquart-Évrard a étudié d'une manière toute particulière

l'influence de l'esprit artistique sur les progrès de la photographie. La pensée de l'habile amateur de Lille est que l'opérateur doit envisager l'image, tracée par la lumière dans la chambre noire, comme une ébauche fidèle attendant l'inspiration artistique pour se compléter. Autrement dit, il faut contraindre la lumière à continuer et à modifier, dans son effet, et au gré de l'opérateur, l'image formée dans la chambre noire. Quelques mots indiqueront rapidement l'idée dominante de ce travail. Un dessin se composant de lumières et d'ombres, il ne suffit pas, pour obtenir le résultat artistique désiré, d'avoir à sa disposition un pinceau lumineux que l'on promène à discrétion sur son épreuve; mais, il faut aussi pouvoir atténuer les lumières trop vives et produire de l'ombre; seulement, la difficulté consiste à ne détruire ni altérer l'image. Pour obtenir ce résultat, M. Blanquart-Évrard pose en principe que l'image photographique étant composée d'un précipité d'argent, l'intensité de l'ombre et de la lumière dépend de l'opacité de la couche locale; dès lors, il ne s'agit, pour modifier l'état partiel du cliché, que d'absorber chimiquement une certaine proportion de la couche métallique. Or, on sait que l'iode forme avec l'argent un composé soluble dans certains réactifs; il suffira donc d'exposer à la vapeur d'iode les parties du dessin que l'on veut amoindrir. On convertira ainsi en iodure une épaisseur déterminée de cette partie de l'image; ceci fait, on passera le cliché à l'hyposulfite de soude, qui dissoudra l'iodure formé sans attaquer l'argent pur. En renouvelant cette opération un certain nombre de fois, on arrivera, par tâtonnements, à obtenir le cachet artistique désiré. En opérant ainsi, l'auteur parvient à donner aux épreuves positives tous les tons qu'il désire.

La Photographie microscopique.

Les extrêmes se touchent; aussi avons-nous les épreuves microscopiques et les épreuves agrandies. La vogue des premières est persistante; cela se comprend, car elles excitent la curiosité, et leur prix est peu élevé; leur aspect est aussi des plus gracieux. Si les personnes initiées à l'art se font une idée inexacte des difficultés pratiques qui entourent l'exécution d'un *stanhope* (tel est le nom de l'appareil qui les renferme),

combien doit-elle éveiller la curiosité du simple observateur à la vue de ces épreuves qui apparaissent si nettes et si pures, dès que l'œil a trouvé la place convenable! Quelques renseignements sur leur construction ne sont pas inutiles.

Un stanhope n'est autre chose qu'un microscope simple constitué par une masse vitreuse dont une extrémité est taillée en lentille biconvexe, laquelle formera l'oculaire, et dont l'autre est une face plane destinée à recevoir la photographie microscopique que l'on placera entre le foyer et le centre optique de la lentille, de manière que l'observateur aperçoive l'image virtuelle convenablement agrandie. Pour faire comprendre comment on peut obtenir aisément ces épreuves, nous prendrons comme exemple la disposition expérimentale adoptée par M. J. Duboscq, et représentée par le dessin ci-joint.

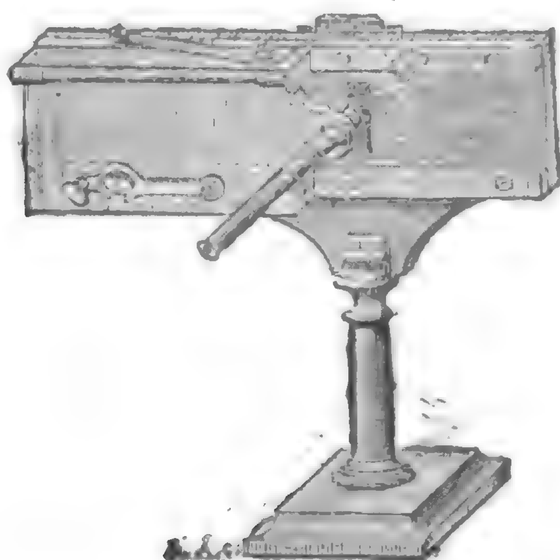


Fig. 1.

On place la glace collodionnée et sensibilisée dans un cadre rectangulaire qui peut être animé d'un mouvement horizontal. D'un côté de ce cadre, se trouve un objectif de microscope composé qui reçoit un mouvement vertical de haut en bas; de l'autre côté du même cadre, on regarde par un oculaire de microscope muni d'un micromètre (consistant en 5 millimètres divisés en 50 parties égales).

Pour opérer, on place le négatif à reproduire à distance convenable de l'appareil; alors, l'objectif et l'oculaire correspondant exactement, on voit dans ce dernier l'image se peindre sur les lignes du micromètre. Or, le plan de la glace sensibilisée conte-

nue dans le cadre étant rigoureusement le même que celui du micromètre, si l'image est mise au point par rapport aux lignes de l'échelle, elle le sera aussi par rapport à la glace. Cette opération terminée, il ne s'agit plus que de faire glisser le *porte-glace*, afin de faire occuper à l'objectif toutes les positions dont se compose son mouvement horizontal. L'objectif est ensuite élevé d'une division, et l'on ramène le cadre sur lui-même; on s'arrête chaque fois, le temps nécessaire à la pose.

Les stanhopes, une fois construits, sont montés sur des objets de bijouterie, dans lesquels il suffit de ménager artistiquement une ouverture, que dissimulera l'ornementation de l'objet. M. Dagron, qui s'occupe spécialement de cette application de la photographie à la bijouterie, monte d'une façon très-ingénieuse ces épreuves microscopiques sur pierres précieuses transparentes. On taille une des extrémités de la pierre en objectif : le verre qui porte la photographie est appliqué à la partie opposée; puis, le tout est encastré dans la monture. En examinant l'épreuve au travers de l'objectif, on jouit d'un effet très-agréable, car l'épreuve apparaît avec la coloration que lui donne la nuance même de la pierre.

Agrandissement des clichés négatifs.

En 1851, M. Duboscq présenta à l'Exposition de Londres un appareil destiné à projeter sur un écran les images agrandies d'objets transparents ou d'épreuves photographiques tirées sur verre. L'habile opticien n'appliqua jamais cette méthode qu'aux projections qui sont passées actuellement en usage dans les cours publics. Il est évident que, si à une toile inerte on substitue un écran sensibilisé, et qu'on remplace le sujet transparent par un négatif sur verre, on imprimera sur l'écran une épreuve positive dont la dimension dépendra de la distance du négatif au foyer de l'objectif, et de celle de l'écran à l'appareil. Lorsque la manie des agrandissements survint en photographie, on imagina plusieurs dispositions expérimentales qui, en somme, dérivent toutes de la lanterne magique de Kircher, du mégascope de Charles et du microscope solaire.

En rendant compte de la *Photographie à l'Exposition de Londres en* 1862, M. Edmond Becquerel indiqua parfaitement en quoi ces

divers systèmes amplificateurs étaient tous basés sur le même principe. Quel qu'il soit, l'appareil amplificateur doit se composer, comme le microscope solaire, d'un condenseur de lumière et d'un système objectif; le tout est de trouver la meilleure position à donner au centre optique de l'objectif, par rapport à celle du sommet du cône lumineux formé par le condenseur. Les uns placent l'objectif avant le cône lumineux, les autres après; certains, au moyen d'une lentille de divergence, rendent parallèles les rayons qui tombent sur le cliché; celui-ci n'en reste pas moins l'objet lumineux dont les rayons doivent, après avoir traversé l'objectif, dessiner l'image sur l'écran. Comme types de ces divers cas, on peut citer la chambre solaire de M. Woodward, l'appareil de M. Duboscq, celui de M. Bertsch. Sans préciser de dates, afin de ne pas soulever inutilement des susceptibilités honorables, nous rendrons pleine justice au mégascope de M. Arthur Chevalier, à l'appareil de M. Liébert, à celui de M. Van Monckoven.

M. Van Monckoven a remarqué, comme ses prédécesseurs, qu'il est inutile d'achromatiser la lentille qui condense la lumière sur le cliché; en effet, les rayons différemment réfringents n'ayant pas un foyer commun, une surface photographique placée au foyer violet n'est nullement influencée par les rayons rouges. Mais il n'en est pas ainsi de l'aberration de sphéricité : l'auteur a remarqué avec raison que, vu sa position, le cliché est plus éclairé sur les bords qu'au centre; ce défaut d'uniformité dans l'éclairage sera corrigé, si on interpose entre la lentille collectrice et le cliché un ménisque divergent qui rendra les rayons parallèles. Telle est la seule modification apportée par M. Van Monckoven à la construction des appareils amplificateurs.

Certes, il est très-intéressant, au point de vue du progrès de l'optique, de perfectionner les appareils de projection; mais, en est-il de même de produire des agrandissements photographiques? Nous avons souvent protesté contre ces grands portraits dans lesquels le jeu de l'appareil a fait ressortir la rudesse des traits, les aspérités de la peau, a transformé complétement le cachet de la physionomie. On a voulu colorier l'épreuve; mais, alors, la photographie n'est plus qu'un fond sur lequel doit peindre l'artiste. Et encore, s'il y trouve pour se guider, des traits, des formes, des draperies, il lui faut nécessairement ou la pose du sujet, ou une représentation exacte qui lui indique l'es-

prit de la physionomie. A mesure que le travail de peinture avance, la photographie s'empâte de couleurs; elle finit par disparaître, et l'artiste a perdu le modèle qui le guidait; il lui faut donc travailler d'instinct.

Si nous critiquons les portraits agrandis outre mesure, nous reconnaissons volontiers que, dans certains cas, l'amplification des clichés donne des résultats satisfaisants et avantageux; c'est ainsi que nous l'admettons pour les vues de paysages, les monuments, les cartes, plans, etc. Dans ce dernier cas, la photographie devient un aide puissant pour l'étude de l'architecture et de la géographie; il suffit de regarder les panoramas de M. Bisson, les vues de M. Claudet, certains paysages de M. le vicomte Aguado, pour en demeurer d'accord.

La photographie en voyage.

La découverte d'un collodion instantané préoccupe toujours les photographes : à quel procédé n'ont-ils pas eu recours pour *surexciter* la sensibilité du collodion? L'iodure d'argent dans le collodion, l'iodure d'arsenic, le chloroforme, l'aldéhyde, les bromures..., ils ont tout essayé et... inutilement. L'épithète *instantané* (faussement adoptée par les photographes, puisqu'aucun phénomène n'est instantané) est encore mal comprise; tous les collodions possibles sont instantanés, s'il y a l'équivalence voulue entre la nature des agents qui concourent à la formation de l'épreuve. L'instantanéité n'est pas un privilége, mais une résultante.

Le grand *desideratum* de la photographie est un collodion se desséchant sur la glace, et à l'aide duquel on puisse opérer en tous lieux, à n'importe quel moment, sa sensibilité ne diminuant pas avec le temps, quoiqu'il existât sur la glace à l'état *sec*. Malgré tous les travaux de recherches, entrepris jusqu'ici, la question reste pendante. Cette découverte intéresse vivement la vulgarisation des sites intéressants par la photographie; car, la photographie en voyage rebute le plus souvent les amateurs et même les artistes, à cause du bagage d'appareils et de liquides qu'il faut traîner avec soi. Cependant on a, depuis quelque temps, simplifié la question en imaginant des appareils qui se trouvent, au départ, munis des pièces et agents nécessaires à

l'obtention des clichés; les opérations finales pouvant être remises au retour.

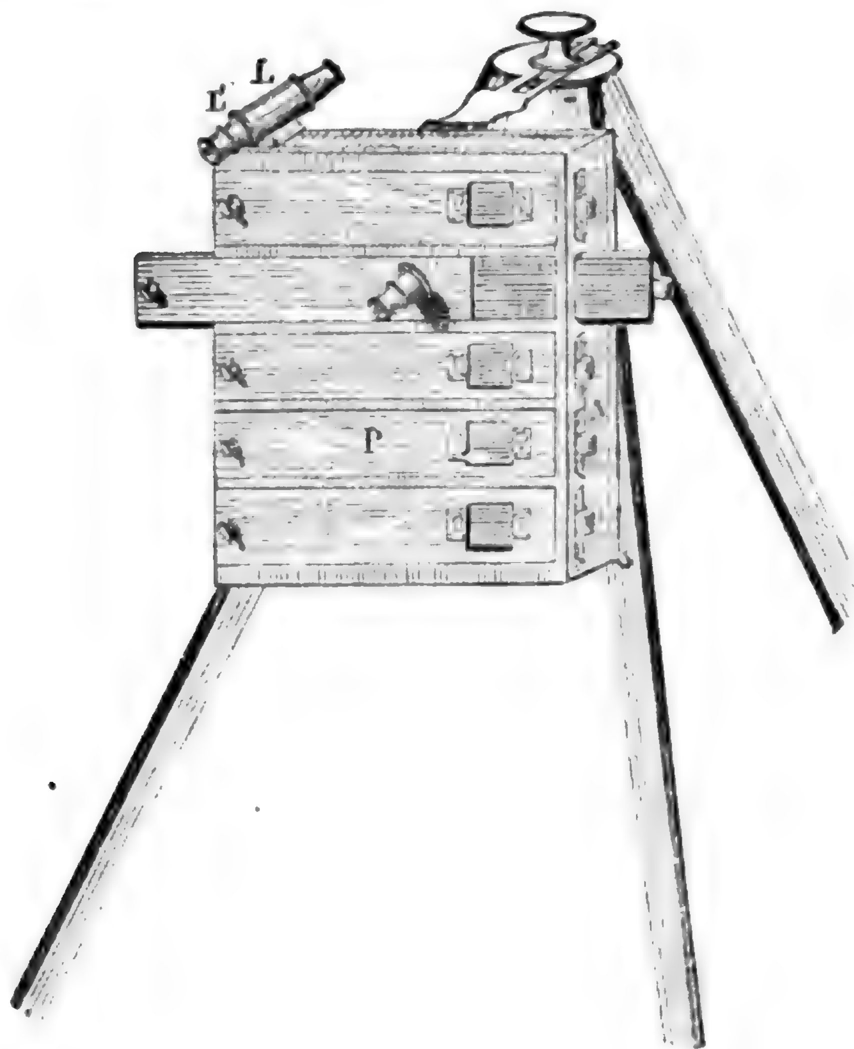


Fig. 2

Le *Polyconographe* de J. M. Duboscq (*fig.* 2), fondé sur le même principe que la chambre microscopique, a le mérite de la simplicité, mais il ne permet que des tournées d'un jour ou deux, car il faut opérer sur des glaces collodionnées et sensibilisées au départ, et nous venons de dire qu'il n'y a pas de collodion sec sensible; les glaces doivent donc être encore légèrement humides au moment d'opérer.

Le second type des appareils de voyage est le *laboratoire révélateur* de M. Albitès; c'est la chambre noire ordinaire, munie de de tiroirs et de cuvettes fixes destinées à contenir les bains indispensables (sensibilisateur et révélateur); le système est agencé pour permettre d'opérer en pleine lumière sans altérer l'épreuve.

Photo-sculpture.

Il y a quelques années, M. F. Willème prouvait, par des spé-

cimens assez heureux, qu'il était possible d'appliquer la photographie à la sculpture. On passa ce fait au compte des expériences ingénieuses mais peu applicables à l'industrie. Aujourd'hui, la *Photo-sculpture* est un art éminemment pratique; une *Société générale de Photo-sculpture* s'est constituée, elle fonctionne régulièrement.

Décrivons les opérations telles qu'elles s'effectuent dans l'atelier de M. Willême. Le modèle est posé au centre d'une enceinte de 10 mètres de diamètre et recevant le jour par en haut; le mur est percé, à hauteur convenable du sol, de vingt-quatre ouvertures situées sur une même circonférence par lesquelles visent les objectifs d'appareils photographiques. Ces appareils sont situés dans une galerie qui environne l'enceinte, et un système de poulies permet de lever et d'abaisser, rapidement et en même temps, les 24 écrans qui protégent les glaces sensibilisées.

Le modèle est installé sur un piédestal situé rigoureusement au centre de l'enceinte; l'opérateur surveille l'éclairage et la pose comme s'il s'agissait d'une photographie pure. L'instant du tirage est indiqué par un coup de sifflet, et les vingt-quatre objectifs fonctionnent aussitôt; à un second signal, les vingt-quatre volets s'abaissent; il ne reste plus qu'à procéder au développement et au fixage des épreuves obtenues. Le modèle est donc reproduit photographiquement sous vingt-quatre directions angulaires espacées de 15 degrés. Les épreuves sont alors classées six par six dans des cadres et numérotées toujours par ordre. Il faut amplifier ces clichés (il suffit, pour cette opération, d'avoir recours au mégascope simple en prenant une lampe de gros calibre comme source lumineuse), et cela, au double de la grandeur que doit avoir la sculpture; des artistes sont spécialement chargés de les dessiner sur papier; on dresse ensuite ces dessins sur planches verticales en prenant les précautions nécessaires pour que la pointe du pantographe ne heurte aucun pli.

Actuellement, on procède à la sculpture. — La masse de terre glaise est installée sur un cercle, mobile autour de son centre, et divisé en autant de parties égales que la circonférence des objectifs; le bloc décrira donc 15 degrés angulaires pour chaque division du mouvement du cadre.

Le pantographe (dressé en conséquence de l'opération) est préalablement armé, au bras qui doit agir sur le bloc de terre,

d'une lame ou même d'un fil métallique; l'autre bras porte un stylet. Le cadre étant à la division 1, on opère sur l'épreuve n° 1, c'est la vue de face du modèle; tandis que le stylet suit rigoureusement les lignes du dessin, la lame taille dans le bloc une silhouette exacte et réduite à moitié; on passe ensuite à la vue de derrière et aux deux vues latérales, en ayant soin de placer convenablement le cadre pour chacune. Puis, remplaçant la lame du pantographe par un stylet, on prend successivement, et par ordre, les autres vues du modèle. Les vingt-quatre silhouettes s'inscrivent ainsi dans le bloc, et, comme elles sont suffisamment rapprochées, leur ensemble donne la représentation fidèle du modèle. Un mouvement mécanique d'avant en arrière donné au bloc, permet d'y enfoncer plus ou moins le stylet du pantographe, lorsqu'il s'agit de former les creux, c'est-à-dire quand l'autre bras attaque les parties ombrées du dessin.

Il est certain que la statue n'est pas *finie* au sortir du pantographe; les retouches sont indispensables et exigent la main du sculpteur, mais elles demandent au plus une journée de travail.

Les sculpteurs ont d'abord accueilli cette innovation avec la même défaveur que les peintres ont montrée à la photographie pure; mais ils sont contraints de reconnaître que le ciseau est impuissant à réaliser aussi rapidement une telle ressemblance: de plus, l'art n'est pas plus lésé par cette nouvelle application que la peinture ne l'a été à la naissance de la photographie. Celle-ci, qui a reçu pour le moins autant de blâmes que d'éloges, continue son rôle; elle a fourni aux peintres une méthode aussi rapide qu'exacte pour reproduire les tableaux et les gravures; elle permet actuellement la vulgarisation des œuvres statuaires, problème qui, sans son intervention, n'aurait pu trouver de solution.

Application de la photographie à la gravure.

La science photographique comprend l'ensemble des nombreux travaux qui tendent à trouver des applications nouvelles à la photographie; la gravure par voie photographique en est incontestablement la plus importante.

M. Edmond Becquerel a déjà analysé, dans son Compte-rendu sur la Photographie à l'Exposition universelle de 1862, les travaux successifs de M. A. Poitevin, puis ceux de MM. le colonel

James, Pouncy, Garnier-Salmon, Fargier, enfin ceux de M. Ch. Nègre et de M. Pretsch. L'historique de cette question étant déjà fait, nous parlerons uniquement des nouveaux procédés dont les spécimens ont figuré à l'Exposition de cette année.

Procédé de M. Morvan. La méthode litho-photographique imaginée par M. Morvan, se fait remarquer par son exécution tout à la fois simple et rapide. Nous avons suivi une opération dans son entier, elle s'est effectuée dans l'espace d'une demi-heure. Le point de départ du procédé Morvan est celui des diverses méthodes litho-photographiques : « l'action réductrice de la lumière sur un mélange de bichrômate alcalin et de matière organique. » — La pierre lithographique est recouverte, au blaireau, d'une couche mince d'un vernis composé de 50g bichrômate d'ammoniaque, 300g d'eau, 300g albumine. La surface étant séchée, on l'expose à la lumière extérieure sous la gravure ou le dessin à reproduire. Rentrant dans le cabinet, après l'insolation, on enlève le cliché ; rien n'est encore visible sur la pierre. On lave cette surface avec le savon de Marseille, les parties solubles, c'est-à-dire celles qui n'ont pas vu la lumière, sont entraînées, et la pierre se creuse légèrement en ces mêmes endroits, tandis que partout où la lumière a donné, l'oxyde de chrôme formé étant insoluble résiste à l'action du savon; l'image apparaît alors et l'on peut procéder à l'encrage : à cet effet, on mouille la pierre et on passe le rouleau d'imprimerie; l'encre ne peut rester qu'aux parties creuses, étant repoussée par l'eau aux endroits qui sont en relief; les creux fourniront donc les *noirs* du dessin, et les parties restées en relief, les *blancs*. Or, puisque les parties creuses correspondent aux noirs du cliché, il y a identité entre la reproduction et le modèle; — ce procédé permet donc réellement d'obtenir une reproduction *positive*, c'est-à-dire sans renversement de tons, et de plus, droite par rapport au modèle. Bien entendu, celui-ci n'est nullement altéré, puisqu'il n'a été posé que sur la surface sèche de la pierre et qu'il n'a pris part à aucune manipulation. En laissant la pierre reposer sous le savon, on arrive graduellement à forcer les creux au point convenable pour le tirage.

M. Morvan, quoique n'étant pas imprimeur, a exécuté par lui-même des cartes géographiques dont la finesse ne laisse rien

à désirer; les écritures se décalquent par sa méthode avec une netteté étonnante. Évidemment, les résultats les plus satisfaisants s'obtiendront avec les clichés photographiques (positifs sur verre). L'auteur, préoccupé de perfectionner son œuvre avant de l'exploiter, a laissé tomber son brevet dans le domaine public; heureusement, un artiste intelligent entreprend actuellement son exploitation, et son habileté est garante que l'art y trouvera son profit.

Procédé de MM. Garnier et Salmon.

MM. Garnier et Salmon, perfectionnant leurs anciens procédés, obtiennent maintenant de très-beaux spécimens de gravure sur métal; voici, en peu de mots, comment ils opèrent : On étend sur la surface métallique une couche du liquide (bichrômate d'ammoniaque et substance poisseuse quelconque); on insole sous l'épreuve à reproduire (positif sur verre, gravure), puis on saupoudre avec une matière résineuse quelconque; celle-ci n'adhérant qu'aux parties non insolées, l'épreuve se trouve ainsi tracée sur le métal, il ne reste plus qu'à la soumettre aux opérations ordinaires de la gravure.

Les épreuves qui ont été présentées par les auteurs à l'Exposition de cette année prouvent qu'ils peuvent espérer beaucoup de l'exploitation industrielle de leur procédé.

Procédé hélio-plastique de M. A. Poitevin.

Dans une brochure, intitulée : *Traité de l'impression photographique sans sels d'argent*, M. A. Poitevin résume les nombreuses recherches qu'il a entreprises pour parvenir à la gravure par voie photographique. Il dit avoir trouvé, le premier, le moyen d'obtenir par l'action de la lumière, sur des surfaces gélatino-bichrômatées, des reliefs et des creux qui, moulés par la galvanoplastie, soit directement sur la gélatine elle-même, soit sur des empreintes en plâtre prises sur elle, donnent des planches gravées d'une finesse remarquable, et peuvent ainsi fournir des clichés pour la typographie ou des gravures en creux pour la taille-douce. Ce serait sortir de notre cadre, que de suivre le savant auteur dans le cours de ses recherches; nous ne devons qu'indiquer le dernier procédé d'*hélioplastie* (tel est le nom

adopté par l'auteur), à l'aide duquel il a obtenu les épreuves qui ont figuré à cette dernière Exposition.

On fait une solution aqueuse de gélatine, additionnée ensuite de bichrômate de potasse; ce mélange est versé sur une lame de plaqué d'argent qui doit, après l'opération, sécher spontanément à l'obscurité.

On opérera, pour la gravure, de deux manières, selon qu'il s'agira d'obtenir une planche en creux ou en relief :

Planches en creux, dans le genre des eaux-fortes. — Après l'insolation de la plaque, sous le dessin à reproduire, on la détrempe dans l'eau : on voit alors les parties non impressionnées se gonfler, tandis que celles insolées, n'absorbant pas d'eau, forment des creux. On pourra, après dessiccation, effectuer un moulage en plâtre de cette surface de gélatine, puis un surmoulage en gutta-percha, lequel sera soumis ensuite aux opérations ordinaires de la galvanoplastie. Il serait même possible de métalliser de suite la surface gélatineuse et de la soumettre directement au bain galvanique. On obtient finalement une planche de cuivre, sur laquelle tous les traits du dessin se trouvent gravés en creux, mais dans le sens de celui du cliché positif qui a servi à impressionner la couche de gélatine, et qui, à l'impression à l'encre grasse, fournit, au sortir de la presse, une épreuve en sens inverse.

Pour les *planches en relief dans le genre des clichés typographiques*, la couche de gélatine doit avoir une plus grande épaisseur; on immerge les plaques, au moment même, dans le bain de bichrômate de potasse, et on les y laisse un temps convenable pour que la couche gélatineuse soit entièrement saturée, on enlève par un lavage l'excès de bichrômate, et on insole, après dessiccation, sous le *négatif* photographique du dessin à reproduire; le temps d'insolation est plus long que précédemment; le reste de l'opération ne change pas.

Procédé de M. E. Placet.

Le point de départ de la méthode de M. E. Placet est incontestablement le même que celui de son prédécesseur, M. A. Poitevin : une matière que la lumière rend insoluble est coulée sur

une plaque; après dessiccation, on la solarise sous le cliché à reproduire; puis, à l'aide d'un dissolvant, on enlève les parties non modifiées par l'action de la lumière. Alors, les portions insolubles forment sur la plaque un relief qui, moulé, puis plongé dans un bain galvanique, donne une planche gravée du modèle qu'on veut reproduire. Mais, voici le côté original du procédé : l'auteur a remarqué que la gravure obtenue de cette manière ne présente aucune des finesses et des demi-teintes du modèle; dans les demi-teintes, en effet, la lumière n'a pu rendre la couche insoluble dans toute son épaisseur; les parties qui les forment, étant trop minces pour résister au dissolvant, cèdent de suite à l'action du lavage. Pour obvier à ce grave inconvénient, il faut renverser le mode d'insolation et exposer la plaque sensible à la lumière par la face non préparée. Il y a ici une analogie avec la méthode de M. Fargier; mais les deux auteurs tendent à un résultat différent.

Le dissolvant étant appliqué sur la face opposée à celle qui a reçu l'action lumineuse, la partie insolée aura un soutien convenable, et les portions qui constituent les demi-teintes résisteront au lavage; par suite, les planches gravées posséderont les finesses du modèle, celles-ci se traduisant au moulage par des reliefs proportionnels à l'intensité lumineuse.

Analysons maintenant la pratique même du procédé de M. Placet. Étant donné un dessin, un modèle quelconque à reproduire, on commence par en faire tirer une épreuve positive sur verre; puis on coule sur ce cliché une couche de matière sensible (bitume de Judée, gélatine bichrômatée, etc.), on insole de la façon indiquée ci-dessus, et l'on procède au lavage. Les parties rendues insolubles par la lumière forment, dans l'eau, des reliefs dont l'épaisseur dépend de la quantité de lumière qui a traversé les parties correspondantes du cliché. On moule ce relief sur plâtre, et les moindres détails apparaissent en creux sur ce support intermédiaire, à l'aide duquel on obtiendra ensuite, d'après les procédés ordinaires de la galvanoplastie, une planche gravée en creux ou en relief, suivant la nature du cliché, la matière employée et la durée d'insolation.

Si M. E. Placet a eu recours à des réactions déjà connues et tombées dans le domaine public, on doit reconnaître que l'ensemble des opérations, telles qu'il les a combinées, constitue

réellement un procédé héliographique dont le mérite essentiel est d'être pratique.

Tirage des positifs au carbone.

En même temps que la photographie sur papier se perfectionnait, on reconnaissait que les épreuves positives aux sels d'argent étaient douées de la plus grande instabilité. M. le duc de Luynes stimula, par la fondation d'un prix, l'ardeur des opérateurs qui se vouaient à la recherche d'un procédé de tirage des positifs donnant des épreuves inaltérables. Le carbone devait évidemment fixer en premier l'attention des chercheurs; aussi tous ceux qui sont arrivés à produire une méthode d'impression par voie photographique, en déduisent naturellement une méthode de tirage des positifs au carbone. En outre de sa méthode lithophotographique, M. A. Poitevin publia un procédé tout à fait spécial et fondé sur des propriétés différentes; M. Edmond Becquerel l'ayant décrit dans son rapport, nous n'ajouterons ici que la méthode employée par l'auteur pour obtenir des *Émaux photographiques*. M. A. Poitevin commence par tirer une épreuve positive; mais, au lieu de carbone, il emploie, pour développer l'image, un émail réduit en poudre impalpable; recouvrant l'image d'une couche de collodion, on la reporte sur une plaque de métal émaillée sur porcelaine, etc., et on fixe en la maintenant à une douce chaleur, dans un moufle d'émailleur.

On a remarqué aussi avec beaucoup d'intérêt les spécimens du même genre exposés cette année par M. Lafon de Camarsac, qui s'adonne d'une manière toute spéciale à ce genre d'épreuves photographiques.

La photographie pure subit en ce moment le sort du daguéréotype : elle s'efface devant les applications qu'elle a créées; fournissant actuellement aux arts et à l'industrie des méthodes qui permettent la vulgarisation des œuvres artistiques, la reproduction économique des cartes et plans, le décalque exact des imprimés et manuscrits, etc.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6.

Principaux Articles

QUI PARAITRONT DANS LES PROCHAINS NUMÉROS.

M. TRESCA. — Expériences sur diverses pompes destinées aux irrigations en Égypte.

M. BOUSSINGAULT.— Note sur la nitrière de Tacungo (république de l'Équateur).

M. CHABRIEZ. — Lettre sur la nitrification naturelle.

MM. TRESCA et CH. LABOULAYE. — Recherches expérimentales sur la théorie mécanique de la chaleur.

M. TRESCA. — Procès-verbaux des expériences de mécanique au Conservatoire des arts et métiers.

M. MOSSELMAN. — Études sur les fumiers de ferme, la chaux animalisée et autres engrais.

TABLE DES MATIÈRES

Du 17e Numéro.

MODE DE PUBLICATION.

Les *Annales du Conservatoire* paraissent tous les trois mois depuis le 1er juillet 1860, en cahiers de 12 à 15 feuilles, avec gravures sur cuivre et sur bois.

Le prix de l'abonnement est de 16 francs par an pour toute la France et de 20 francs pour l'Étranger.

Les années précédentes formant chacune 1 beau volume in-8 d'environ 800 pages, avec de nombreuses figures et planches gravées, se vendent chacune séparément 16 francs.

Les numéros se vendent séparément 5 francs.

ON S'ABONNE à l'année courante, ou l'on reçoit *franco* chacune des années publiées,

En adressant *franco* un mandat de 16 francs sur la poste,

A la Librairie scientifique, industrielle et agricole de EUGÈNE LACROIX, éditeur,

15, quai Malaquais, à Paris.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Nº 18. — *Octobre 1864.* — TOME V.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

AMSTERDAM. — VAN BAKKENES.
BRUXELLES. — LEBÈGUE ET Cᵉ.
LONDRES. — BARTHÈS ET LOWELL.
MADRID. — BAILLY-BAILLIÈRE, DURAN, POUPART.
MOSCOU. — GAUTIER.

NAPLES. — PELLERANO.
NEW-YORK. — BOSSANGE ET FILS.
SAINT-PÉTERSBOURG. — J. ISSAKOFF
TURIN. — BOCCA.
VARSOVIE. — GEBETHNER.

1864

Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. le baron Charles **DUPIN**, de l'Académie des Sciences.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. *Professeur :* M. **DE LA GOURNERIE**, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **TRESCA**, sous-directeur du Conservatoire.

CONSTRUCTIONS CIVILES. *Professeur :* M. **TRÉLAT**, architecte.

PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Edmond **BECQUEREL**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Eug. **PÉLIGOT**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **PAYEN**, de l'Académie des Sciences.

AGRICULTURE. *Professeur :* M. **MOLL**, de la Société impériale d'Agriculture.

CHIMIE AGRICOLE. *Professeur :* M. **BOUSSINGAULT**, de l'Acad. des Sciences.

TRAVAUX AGRICOLES ET GÉNIE RURAL. *Professeur :* M. **HERVÉ MANGON**, Ingénieur des ponts et chaussées.

FILATURE ET TISSAGE. *Professeur :* M. **ALCAN**, ingénieur civil.

TEINTURE, APPRÊT ET IMPRESSION DES TISSUS. *Professeur :* M. **PERSOZ**, directeur de la Condition des soies.

LÉGISLATION INDUSTRIELLE. *Professeur :* M. **WOLOWSKI**, de l'Académie des Sciences morales et politiques.

ADMINISTRATION ET STATISTIQUE INDUSTRIELLES. *Professeur :* M. J. **BURAT**.

Professeur honoraire : M. le Général **MORIN**, de l'Académie des Sciences.

Conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers :

MM. le général **MORIN**, directeur du Conservatoire, *président*.
SCHNEIDER, vice-président du Corps législatif, directeur des usines du Creusot, *vice-président*.
TRESCA, sous-directeur du Conservatoire, *secrétaire*.

MM. les **PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE**.

Et MM. **MARY**, inspecteur général des ponts et chaussées.
COUCHE, ingénieur en chef, professeur à l'École impériale des Mines.
DAILLY, de la Société impériale d'Agriculture.
FÉRAY, d'Essonne, manufacturier.
FROMENT, constructeur d'instruments de précision.
HOUEL, ingénieur des usines Cail et Cie.
DIETERLE, ancien chef des travaux d'art à la manufacture impériale de Sèvres.

SUR LA

NITRIÈRE NATURELLE DE TACUNGA

(État de l'Équateur.)

PAR M. BOUSSINGAULT.

Le salpêtre est répandu dans la nature avec une étonnante profusion. On le trouve dans la pluie, la neige, la grêle, la rosée, le brouillard, dans l'eau des fleuves et conséquemment dans l'Océan. Il est engendré dans l'air et dans la terre. Lorsqu'un corps brûle dans l'atmosphère, il y a, le plus souvent, oxydation d'azote, formation d'un composé nitré. Néanmoins si le nitre est partout, c'est en proportion assez minime. Les localités où on le rencontre en abondance sont assez rares; le seul point connu du globe où il atteigne la proportion d'un gîte minéral, est dans la province de Tarapaca, au Pérou. Ailleurs, ce sel apparaît spontanément dans des circonstances fort diverses, qui toutes, cependant, dénotent l'intervention de matières organiques; il couvre le sol d'efflorescences, se développe, pousse comme une végétation rapide. Il y a quelques jours la terre était noire, humide; aujourd'hui elle est blanche, pulvérulente, elle semble cachée sous la neige. On enlève le salpêtre en balayant le terrain, et si les conditions météorologiques restent favorables, l'on ne tarde pas à voir poindre une nouvelle récolte. C'est ainsi qu'on obtient le nitre du limon déposé par les inondations du Gange. C'est ainsi qu'en Espagne l'on retire du nitrate de potasse en lessivant des terres végétales, qui deviennent, à volonté, soit des nitrières productives, soit des champs de froment[1]. Dans ces nitrières naturelles, le salpêtre, sans aucun doute, pro-

1. Bowles.

vient des mêmes causes qui en assurent autre part la formation dans des proportions infiniment plus limitées : en plein soleil dans les terres cultivées; à l'ombre dans le sol des forêts; à l'obscurité dans les caves. C'est la réunion de toutes les circonstances propices à la production du salpêtre, qui fait que le fond d'une vallée, une plaine, une caverne donne des produits exceptionnels : mais, dans tous les cas, ce sont les mêmes agents qui interviennent, des matières organiques, l'humus; le même phénomène qui s'accomplit : la combustion lente, déterminant, comme dans la jachère, l'oxydation d'une faible quantité d'azote appartenant à l'atmosphère[1].

Que le nitre naisse dans un milieu renfermant des matières organiques analogues aux principes humiques de la terre végétale, c'est ce qui paraît incontestable. Aucun sol au monde ne dépasse en fertilité les rives du Gange; en Espagne les nitrières sont des terres à blé; à Ceylan les cavernes à salpêtre sont recouvertes de terrains boisés et, par cela même, placées de manière à recevoir les infiltrations d'un sol forestier; elles sont, en outre, le repaire d'oiseaux qui y laissent des déjections.

Un air sec, de longues périodes de jours sans pluie, sont assurément des conditions indispensables à la formation, et surtout à la conservation du salpêtre; aussi les rencontre-t-on toujours là où il existe des nitrières. Mais il est encore une condition indépendante du climat, purement géologique, qui contribue singulièrement à la révélation des terrains nitrifiés. C'est la présence de détritus de roches cristallines ayant le feldspath comme élément. C'est par l'apport de la potasse contenue dans ce minéral, qu'est constitué le nitrate de cette base alcaline, le salpêtre proprement dit ayant assez peu d'affinité pour l'eau et dont l'efflorescence est la manifestation la plus apparente de la nitrification. Or, toutes les nitrières naturelles connues jusqu'à présent sont pourvues de l'élément feldspathique ; il en est encore ainsi de la nitrière que je vais décrire, celle de Tacunga, dont le sol est un débris des trachytes et des tuffes ponceux qui dominent parmi les roches volcaniques de l'équateur.

Tacunga, situé par 0° 59′ de latitude sud, à 80° 10′ de longi-

1. Boussingault. *Agronomie, chimie agricole et physiologie*, 2e édition, t. I, page 318.

tude à l'ouest de Paris, a été fondée en 1524 sur l'emplacement d'une cité indienne. J'ai trouvé pour son altitude, 2,860 mètres; la température moyenne est de 15°.5. La ville est placée entre deux rivières, l'Alaques et le Cutuchi, sur une pente douce qui s'élève graduellement jusqu'à la base du Cotopaxi ; à l'époque où je l'habitais, cette ville offrait un affligeant spectacle, on n'y voyait que des décombres, attestant son ancienne splendeur. C'étaient là les effets des tremblements de terre de 1669 et 1757, qui occasionnèrent la mort de 12,000 habitants. Il faut bien des années dans l'Amérique espagnole pour reconstruire les édifices qu'une trépidation du sol renverse en quelques secondes.

La terre arable de Tacunga est un sable assez fin, de particules de trachyte et de ponce colorées par une matière humique, qui prend une teinte noire lorsqu'elle est mouillée.

Quelques jours après qu'il a cessé de pleuvoir, le sol, particulièrement celui du monticule du Calvario, se couvre d'efflorescences blanches, qui s'étendent jusqu'au pied des maisons du faubourg. On enlève ces efflorescences lorsque l'on juge qu'elles ont acquis une épaisseur convenable; on les lessive pour en extraire le salpêtre.

Le travail des salpêtrières n'a rien de particulier; l'évaporation des eaux de lessivage a lieu dans des chaudières de cuivre; à la première impression de la chaleur il se forme des écumes que l'on enlève, et les eaux, d'une couleur brune, sont versées dans les cristallisoirs, lorsqu'elles ont atteint une densité suffisante pour qu'un œuf puisse surnager. Le salpêtre brut est en petits cristaux colorés, il contient 60 p. 100 de nitrate de potasse. Les eaux mères renferment des nitrates de soude, de chaux, de magnésie et du sel marin. Le salpêtre purifié est employé dans la poudrière de Tacunga, établissement des plus primitifs, qui suffit néanmoins pour fabriquer une quantité assez considérable de poudre, consommée en grande partie dans les cérémonies religieuses.

On a vu que le terrain de Tacunga se revêt d'efflorescences salines, aussitôt que l'air devient sec. Alors le salpêtre grimpe, croît, pour me servir des expressions usitées par les Indiens; après la récolte, il en apparaît d'autre si l'état de l'atmosphère continue à favoriser sa production et son ascension. Lorsque la couche superficielle effleurie est enlevée, il doit nécessaire-

ment rester jusqu'à une certaine profondeur des nitrates tout formés, ou en voie de formation ; c'est une réserve qui constitue, à un moment donné, la richesse du sol. J'avais compris, il y a longtemps, qu'il y aurait de l'intérêt à examiner la terre placée au-dessous des efflorescences, afin d'apprécier sa teneur en nitrates et de rechercher les substances pouvant, par leur nature, concourir à la nitrification.

Lorsque je résidais dans l'État de l'Équateur, je n'ai pas eu le loisir de me livrer à cette étude. Le salpêtre de Tacunga servait alors à faire de la poudre, destinée à un tout autre service que celui de l'église, et ceux qui la préparaient comme ceux qui l'employaient, se préoccupaient assez peu de l'origine de son principal ingrédient; mais j'ai été assez heureux pour me procurer de la terre de la nitrière, par l'intermédiaire d'un élève sorti des laboratoires du Conservatoire des arts et métiers, M. Cassola, que le gouvernement équatorien avait appelé à remplir la chaire de chimie du collége de San-Vicente. M. Cassola a prélevé sur un grand nombre de points des échantillons, à partir de la surface jusqu'à un décimètre de profondeur, alors qu'il n'y avait plus d'efflorescences salines à la superficie.

Le nº 1 représentait le sol de la pente du Calvario; le nº 2 avait été pris au bas de Tapias, murs de briques crues qui se nitrifient fortement.

Les échantillons avaient été desséchés au soleil avant d'être mis en flacons.

Dans l'état où M. Cassola a remis les terres au Conservatoire.

Le nº 1 était d'un brun clair.

Le nº 2 d'un brun foncé.

A l'examen microscopique, les deux échantillons ont présenté les mêmes éléments.

Des grains arrondis de quartz transparent, des grains de pierre ponce intacte et altérée, ayant alors l'apparence, la consistance du kaolin; quelques lames de mica; quelques débris végétaux, fibreux, bruns, plus ou moins altérés, dont une partie ressemblait à de la tourbe; de rares fragments de fer titané; de petites masses arrondies de trachytes; un peu d'argile jaunâtre : ces mélanges à peine plastique, présentait, en un mot, les propriétés physiques d'une terre végétale légère.

Des essais préliminaires ayant établi que ces terres renfer-

maient des substances organiques azotées, communiquant, comme les matières humiques, une couleur brune aux solutions alcalines, on a dosé l'azote par la combustion opérée avec l'oxyde de cuivre; et pour connaître celui qui était engagé dans les substances organiques, il a suffi d'en retrancher l'azote appartenant à l'acide nitrique et à l'ammoniaque, déterminés par des recherches spéciales.

Les analyses exécutées dans mon laboratoire ont donné pour la composition des matières séchées au soleil :

	TERRE DU CALVARIO.	TERRE DE TAPIAS.
Azote engagé dans ces substances organiques	0.243	0.213
Acide nitrique	0.975	0.618
Ammoniaque	0.010	0.004
Acide phosphorique	0.460	0.500
Chlore	0.395	0.475
Acide carbonique	traces.	»
Acide sulfurique	0.023	0.073
Potasse et soude	1.030	1.443
Chaux	1.256	1.904
Magnésie	0.875	0.675
Sesquioxyde de fer	2.450	0.450
Sable, débris de ponce	83.195	84.448
Eau	3.150	7.407
Matières organiques et pertes	6.181	
	100.000	100.000

Un décimètre cube de la terre du Calvario, a pesé 1,200 gram. D'après l'analyse il contiendrait : 0gr.,12 d'ammoniaque à l'état de sels fixes; 11gr.,70 d'acide nitrique, représentant 21gr.,91 de nitrate de potasse; 2gr.,92 d'azote, entrant dans des matières organiques et formant une sorte de réserve pouvant donner lieu soit à une production d'acide nitrique, soit à une production d'ammoniaque.

Telle est la teneur de la terre de Tacunga, en principes nitrifiés ou nitrifiables, après qu'on a ramassé le salpêtre effleuri. Ce sont autant de matériaux qui apparaîtront bientôt, si la pluie n'intervient pas. Jusqu'à quelle profondeur la nitrière en est-elle pourvue? C'est ce que l'on ignore, mais si l'on suppose qu'elle

conserve la composition assignée par l'analyse dans une épaisseur d'un décimètre, l'on en tire cette conséquence qu'un hectare de terrain du Calvario renfermerait, en nitrates de différentes bases, l'équivalent de 21,910 kilogrammes de nitrate de potasse. Sans s'arrêter d'ailleurs à aucun nombre, l'on est bien forcé d'admettre que la nitrière est dotée d'une bien grande somme d'éléments nitrifiés ou nitrifiables, pour fournir des quantités de salpêtre aussi considérables que celles que l'on en extrait incessamment.

L'analyse fait ressortir une curieuse analogie entre la constitution des terres de Tacunga et celle des meilleurs terrains cultivés, et même celle du terreau, de tous les engrais le plus généralement efficace. De part et d'autre elle signale la présence de substances considérées, avec raison, comme de puissants agents de fertilité : l'acide nitrique, l'ammoniaque, des matières humiques transformables, enfin l'acide phosphorique.

Dans 1 kilogramme de matière sèche :

	TERRE de LA NITRIÈRE.	TERREAU des MARAICHERS.	TERRE DU POTAGER du Liebfrauenberg
Azote uni à des matières organiques.	2gr.43	10gr.50	2gr.59
Nitrates exprimés en nitrate de potasse	18 .26	1 .07	0 .95
Ammoniaque	0 .10	0 .12	0 .02
Acide phosphorique	4 .60	12 .80	3 .12

La nitrière est bien plus riche en principes fertilisants que la terre fortement fumée d'un potager, et si, ce qu'explique son origine comme sa préparation, le terreau renferme plus de substances organiques azotées, il ne contient pas, à beaucoup près, autant de nitrates.

L'apparition spontanée du salpêtre dans une nitrière naturelle est due à un ensemble de circonstances, parmi lesquelles figure en première ligne la fertilité du sol ; et si, dans les hautes vallées des Andes, la nitrification n'est pas toujours assez intense pour devenir l'objet d'une exploitation, la fécondité des terres se ressent néanmoins des causes qui la déterminent. Nulle part on ne

voit de plus beaux champs de luzerne que dans les environs de Tacunga. Les plantureux herbages de Puela, où l'on engraisse le bétail, ceux d'Angamarca, couverts de troupeaux de la race ovine, sont placés sur ce terrain privilégié. Plus au nord, l'aspect de la contrée change singulièrement. Déjà près de Sainte-Rosa, la végétation est réduite à de rares aloès, à des cactus épineux disséminés dans le désert de Guachi. Plus loin, l'on entre dans la plaine stérile de Tapi, base du Chimborazo. C'est la continuation de la vallée de Tacunga, que limitent deux ramifications des Andes et dont l'altitude se maintient à 2,800 et 3,000 mètres. C'est le même terrain : du trachyte, de la ponce désagrégés comblant les anfractuosités des roches volcaniques de l'Équateur ; mais l'humus manque et le salpêtre ne surgit plus.

Il y a donc une connexité réelle entre la fertilité et la nitrification. C'est évident pour la nitrière de Tacunga, comme pour les champs salpêtrés de l'Espagne, dont on retire du nitre ou du froment ; comme pour les rives du Gange qui donnent le salpêtre de houssage à côté des plus belles plantations de tabac, de maïs et d'indigo. De même que dans la terre arable de nos contrées septentrionales, l'acide nitrique est produit graduellement pendant la combustion lente, invisible de la matière organique. En 1852, j'ai pu suivre jour par jour ce phénomène sur de la terre du Liebprauenberg[1].

Dans les nitrières naturelles, la formation du salpêtre est souvent intermittente, par la raison qu'elle est subordonnée à certaines conditions atmosphériques; la sécheresse la favorise quand elle ne s'étend pas jusqu'au sol ; une forte humidité lui est nuisible; la pluie d'ailleurs dissout, déplace ou entraîne le salpêtre déjà formé. C'est ce qui arrive à Tacunga où la saison pluvieuse (*invierno*), se prolonge depuis décembre jusqu'en mai, et les pluies sont si fréquentes pendant ce dernier mois, que son abondance justifie pleinement le dicton espagnol « *en mayo, hasta el sayo.* » La saison sèche (*verano*), est interrompue par les orages de l'équinoxe de septembre. La durée de la nitrification est donc, par le fait, assez limitée dans cette localité; sans ces influences fâcheuses elle serait continue. Le salpêtre, si l'on ne

1. Boussingault. *Agronomie, chimie agricole et physiologie*, 2e édition, t. II, page 10.

le récoltait pas, s'accumulerait à la surface du terrain, et si au lieu des pluies continues de l'*invierno*, il n'y avait d'autre humidité que celle provenant de la vapeur aqueuse contenue dans l'air, des brouillards, de la rosée, les effets qui se produiraient sont faciles à prévoir. Les sels déliquescents seraient absorbés; on ne trouverait à la superficie et à quelque profondeur du sol, que les sels ayant assez peu d'affinité pour l'eau; les nitrates de potasse et de soude, le chlorure de sodium. A la suite des siècles, le salpêtre se rencontrerait en cristaux disséminés dans le sable, dans l'argile, ou agglomérés de manière à constituer des amas plus ou moins étendus, des couches plus ou moins puissantes; en un mot, le salpêtre, par cela seul qu'il aurait été préservé de l'action destructive ou dissolvante de l'eau, finirait par former un gisement important.

C'est vraisemblablement à de telles circonstances qu'est due l'accumulation de ces prodigieuses quantités de nitrate de soude exploitées aujourd'hui à Taracapa, après être restées intactes pendant des milliers d'années. Ces gîtes considérés comme inépuisables, sont placés sur la pamba del Tamarugal, à la limite du désert de Yatacama, 1,000 mètres au-dessus et à dix lieues de l'océan Pacifique, dans un terrain composé de galets et de *limon*. Le *caliche*, objet principal de l'exploitation, consiste en un mélange très-cohérent de sable, d'argile et de nitrate, en bancs de deux à trois mètres d'épaisseur. L'on croit avoir remarqué, qu'après un certain laps de temps, du nitrate de soude réapparaît là où on l'avait enlevé; de sorte que si le fait était bien constaté, il faudrait en conclure que l'action nitrifiante n'est pas anéantie, que les matériaux de la nitrification ne sont pas épuisés. Quoi qu'il en soit, la cause de la conservation du salpêtre de Tamarugal est incontestable; c'est l'absence des eaux météoriques qui, dans la plupart des nitrières naturelles, en limite la production comme la conservation. Dans la province de Tarapaca, comme dans le désert de Yatacama il ne pleut jamais; la seule humidité qu'on y connaisse est la *garua*, brouillard assez dense pour cacher le disque du soleil, qui se montre chaque jour pendant plusieurs mois, lorsque cesse le vent du sud, le grand dessiccateur de la côte du Pérou. Cette *garua*, sans jamais imbiber complétement la terre, l'humecte assez cependant pour la rendre productive, en suppléant à la pluie inconnue dans ces

contrées; elle peut mouiller un terrain salpêtré, sans y introduire assez d'eau pour entraîner les sels solubles.

L'origine de l'acide nitrique dans les nitrières naturelles analogues à celle de Tacunga, réside, comme on l'a vu, dans la combustion lente des matières organiques azotées analogues à l'humus, aux acides bruns des terres fertiles; origine bien différente de celle de l'acide nitrique engendré dans l'atmosphère, qui est aussi une immense nitrière, par le feu électrique, par l'action encore plus mystérieuse de l'ozone, déterminant la combustion directe de l'azote avec l'oxygène.

J'ai placé, à la suite de ce mémoire, l'extrait d'une lettre que m'a adressée M. Chabriez, chef d'escadron d'artillerie, en résidence à Constantine, sur les nitrières de l'Algérie. On lira dans la description des matériaux salpêtrés de Biskra. « qu'on y
« aperçoit au microscope des parcelles noires ou brunes, que
« M. Millon, qui les a observées le premier, a reconnu être des
« produits humiques, auxquels il a attribué dans la nitrification
« le rôle du combustible déterminant par entraînement l'oxyda-
« tion de l'azote des matières organiques. »

C'est là une heureuse coïncidence, car M. Millon ne connaissait pas plus les travaux auxquels je me livrais depuis plusieurs années, que je ne connaissais les siens.

EXTRAIT *d'une lettre adressée par* M. Chabriez, *chef d'escadron d'artillerie à* M. Boussingault.

Poudrerie de Constantine (Algérie), 20 novembre 1863.

Monsieur,

En lisant les travaux que vous avez publiés sur la végétation, j'ai éprouvé le désir de vous communiquer les observations que j'ai faites sur la nitrification naturelle. Je n'aurai pas besoin de justifier auprès de vous l'association d'idées qui m'a conduit à

ce rapprochement; la liaison qui existe entre ces deux phénomènes a fait l'objet de l'un de vos Mémoires, elle ressort de toutes vos études.

Je vous demande la permission d'exposer d'abord les circonstances variées, quant à leurs apparences extérieures, rapprochées en réalité par bien des points, dans lesquelles j'ai pu observer la nitrification naturelle.

Lorsque j'aurai formulé les conclusions que j'ai cru pouvoir en tirer, lorsque j'aurai exposé les essais confirmatifs auxquels je me suis livré jusqu'ici et les résultats que j'ai obtenus, vous me permettrez peut-être, Monsieur, de solliciter vos conseils dans le cours des recherches que j'ai entreprises.

I

Le nitre exploité en Algérie, et particulièrement dans les environs de Biskra, se trouve en quelque sorte enfoui dans des amas de terre qui ont tous pour origine d'anciens villages bâtis en briques crues. Ces villages, détruits ou abandonnés à des époques plus ou moins anciennes, forment par leurs débris accumulés des monticules qu'on aperçoit de distance en distance dans les vastes plaines du Sahara. Pendant toute la durée de l'existence de ce village, les maisons grossièrement construites s'écroulent successivement, les débris de la partie supérieure de chacune de ces constructions en ruine, enfouissent les parties inférieures restées debout. Plus tard d'autres bâtiments s'élèvent par-dessus les premiers et le sol du village s'exhausse ainsi peu à peu. Les fouilles exécutées dans ces massifs abandonnés font invariablement découvrir des bases de murs groupés suivant le plan des îlots de maisons auxquelles ils ont appartenu, et dans lesquelles l'habitation de l'homme et la stabulation, qui en est le complément habituel dans la vie arabe, ont déposé les matières organiques qui alimentent plus tard la nitrification

Les matériaux salpêtrés de cette provenance conservent l'aspect des terres argileuses qui ont servi dans l'origine à leur confection, seulement ils présentent d'ordinaire une nuance un peu plus foncée, leur compacité est moins grande, et l'on y recon-

naît facilement, en les examinant de près, la présence des matières salines dont ils sont imprégnés. La saveur âcre des chlorures qu'ils contiennent, dissimule le plus souvent celle du nitre; vus au microscope, ils laissent apercevoir en assez grande quantité des parcelles noires ou brunes que M. Millon, qui les a observées le premier, a reconnu être des produits humiques et auxquels il a attribué dans la nitrification le rôle du combustible déterminant par entraînement l'oxydation de l'azote des matières organiques.

En pratiquant des tranchées dans les amas de terre dont je viens de parler, on y rencontre souvent des couches de cendres charbonneuses, vestiges des foyers d'anciennes habitations, et surtout les produits de la décomposition lente des troncs de palmier qui en formaient la charpente. Cette dernière substance se présente habituellement sous la forme de poussière brune très-fine, assez semblable à du café maure ou à du tabac d'Espagne. Cette poussière est réunie en amas considérables dans l'endroit même où a été enterré le morceau de palmier dont elle a pris la place. Les matières humiques dont j'ai parlé plus haut proviennent de ces deux sources.

On se borne, dans la plupart des cas, à enlever à la pioche et sur une profondeur de 10 à 15 centimètres, la surface des monticules exploités en attendant pour revenir au même endroit que quelques jours se soient écoulés. Dans certaines localités, comme Biskra, où la masse exploitée est très-considérable, et par cela même peu homogène, l'on s'exposerait, en procédant comme je viens de le dire, à tomber sur des parties dépourvues de nitre; on pratique alors des tranchées à l'aide desquelles on découvre les murs enfouis, et l'on évite les terrains vagues restés en dehors des habitations.

La composition en quelque sorte factice et accidentelle de ces matériaux ne me permet pas de présenter ici le tableau des analyses nombreuses qui en ont été faites. Malgré la concordance de la plupart d'entre elles pour chaque échantillon, les résultats varient tellement de l'un à l'autre pour une même provenance, qu'on ne saurait rien en conclure de précis. On pourrait tout au plus constater d'une manière assez générale que la quantité d'acide nitrique produit, augmente avec la proportion de chaux qu'ils contiennent et semble diminuer avec la quantité de ma-

gnésie. La teneur des matériaux salpêtrés en alcali influe aussi, comme on devait le prévoir, d'une manière favorable sur la proportion du nitre que les matériaux renferment.

En résumant les circonstances caractéristiques de cette première série d'observations, on voit :

1° Que dans les exemples qu'elle comprend, la présence du nitre est toujours associée à la décomposition de substances organiques azotées;

2° Que les matériaux sur lesquels elle a porté sont tous, soit à l'état sec, soit avec un faible degré d'humidité, doués d'une certaine porosité ;

3° Que tous sont en grande partie composés d'argiles qui jouissent de la double propriété de retenir les matières organiques, azotées ou non, et d'agir sur les éléments de l'acide nitrique ;

4° Que presque tous contiennent, quoiqu'avec des degrés de diffusion très-inégaux, des substances noires douées de certaines propriétés communes, mais qui, n'ayant pas toutes la même origine, n'ont pas non plus, probablement, la même composition.

II

Le nitre se rencontre encore en Algérie dans des grottes qui donnent abri aux troupeaux pendant l'hiver et servaient autrefois de refuge aux populations pendant la guerre. Le sol de ces grottes est formé de matières organiques desséchées dont les parcelles les plus ténues soulevées par les mouvements de leurs habitants et par l'agitation de l'air, se déposent sur les anfractuosités des rochers sous forme de poussières humides et salines toujours imprégnées d'un peu de nitre. A la longue, la nitrification pénètre à des profondeurs variables, mais toujours limitées à quelques centimètres, les surfaces calcaires plus ou moins poreuses sur lesquelles ces poussières se déposent. — D'autres cavités rocheuses d'un abord plus difficile ou d'une habitation moins commode, donnent asile à des oiseaux dont les excréments desséchés produisent les mêmes effets. C'est sans doute à des causes de ce genre, mais probablement plus favorables,

qu'est due la production du nitre dans les grottes de l'île de Ceylan.

C'est ici la place de noter un fait isolé, mais qui présente un certain intérêt au point de vue de l'étude de la nitrification.

Au sud de Constantine, sur le revers opposé du ravin profond qui entoure la ville, s'élève le Mansourah, haute colline formée de marnes schisteuses que surmonte une couche épaisse de travertin poreux, sur le pourtour de laquelle sont creusées des grottes de profondeurs très-inégales; les unes orientées au nord, les autres vers l'est et le sud-est. Les parois de l'une de ces dernières sont constamment tapissées d'une mince croûte saline qui présente la composition moyenne suivante :

Nitrate de potasse	86.00
Nitrates de chaux et de magnésie	3.00
Chlorure de sodium	6.00
Eau	3.50
Matières solides et extractives	1.50
Total	100.00

Lorsque cette couche saline a été enlevée, on la voit se reproduire au bout de quelques semaines, surtout dans les saisons moyennes.

Pendant les pluies d'hiver, et au moment de la fonte des neiges, le plafond de cette grotte α, dont l'extrados est en partie découvert, laisse suinter de l'eau; le nitre qui en tapissait la voûte est dissous et entraîné sur les surfaces inférieures, où il reparaît en efflorescences.

J'ai dit qu'une partie de l'extrados de cette voûte naturelle est à découvert : j'ajouterai que la partie postérieure est abritée par un encorbellement qui forme au-dessus et un peu en arrière de la grotte que je viens de décrire, une sorte d'étage supérieur β fréquenté quelquefois en hiver par les troupeaux, à cause de l'horizontalité de son sol (*fig.* 1).

Il est fort probable que la nitrification des parois de la grotte inférieure est due à la filtration lente des liquides qui entraînent, à travers les masses poreuses dans lesquelles la grotte est creusée, les substances organiques azotées déposées à l'étage supérieur.

Je n'aurais rien de particulier à noter à propos de ce fait, semblable à beaucoup d'autres du même genre, si la continuité et la netteté du phénomène qu'il présente ne m'avaient pas engagé à tenter une expérience dont les résultats présentent quelque intérêt.

Je ne séparerai donc pas la description de cette expérience de l'exposé du fait qui l'a provoquée.

J'avais fait creuser les cavités que renferme le plateau supérieur du Mansourah, moins pour y chercher des traces de nitrification naturelle que pour y établir des nitrières artificielles reproduisant, autant que possible, les circonstances auxquelles j'attribuais la production du nitre dans la première grotte observée.

Pour cela je fis construire, dans l'intérieur des grottes et avec le travertin même du Mansourah, des voûtes jointives et parallèles en pierres sèches, de 1 mètre à 1 mètre 50 de hauteur à la clef.

Ces voûtes, dont les axes étaient perpendiculaires à la face antérieure de la grotte, aboutissaient toutes à une sorte de couloir également voûté, qui faisait le tour de la construction en s'appuyant sur la paroi de la caverne. Sur l'extrados commun de ces voûtes, nivelé au moyen de fragments de tuf, je fis étendre des matières propres à varier l'expérience. Dans un cas c'était un lit de terreau recouvert de terre végétale préalablement mêlée de cendres. Cette couche fut arrosée avec soin, de manière à la maintenir toujours fraîche.

Dans un autre cas, la couche étendue au-dessus des voûtes en pierres sèches fut simplement composée d'un mélange de terre et de cendres, mais arrosée avec les eaux d'égoût d'un abattoir voisin.

Je n'entrerai pas ici dans la description détaillée des vingt-quatre nitrières que je fis construire, et dont les dispositions ne différaient pas sensiblement de celles que je viens d'indiquer; j'ajouterai seulement qu'afin de préserver l'intérieur des petites voûtes des mouvements tumultueux de l'atmosphère et de l'action directe du soleil, j'avais fait obstruer l'entrée des voûtes avec des pierres grossièrement posées et faciles à déplacer.

Deux mois après leur installation, les nitrières ont commencé à se partager en deux catégories distinctes par la nature des

résultats qu'elles ont donnés. Les nitrières orientées vers le sud et le sud-est ont toutes donné des traces très-apparentes de nitrification ; au contraire, les nitrières ouvertes du côté du nord sont restées stationnaires. Pour ne rien omettre, je noterai ici que dans ces dernières, et surtout dans celles qui étaient formées de couches de fumier recouvert de terre végétale, les champignons ont remplacé le nitre. Dans les nitrières 2 et 3, appartenant à la première catégorie, et installées du 1er au 15 décembre, les efflorescences blanches ont commencé à couvrir dès les premiers jours du mois de mars suivant, le devant et l'intérieur des voûtes en pierres sèches. Ces efflorescences, volumineuses en apparence, étaient formées d'aiguilles entre-croisées extrêmement légères, et que la compression réduisait à un très-petit volume. Elles étaient d'ailleurs très-fugaces, disparaissaient au premier soleil un peu vif et sous l'action du vent de siroco, pour reparaître dans les matinées fraîches et dans les temps couverts.

La surface de la couche de terre végétale qui s'étendait sur chaque nitrière se couvrait en même temps d'efflorescences composées dans des proportions variables de nitrates alcalins et terreux, de sulfate de chaux et de magnésie, et de chlorure de sodium.

Pour conserver la terre dans un état d'humidité constant, j'avais fait couvrir quelques-unes des nitrières d'une mince couche de litière posée sur des roseaux. Ces derniers permettaient de soulever le paillis sans le déplacer, afin d'examiner à volonté l'état de la nitrière. L'humidité fut maintenue à la surface de la couche de terre, mais les efflorescences disparurent en même temps. Enfin je fis, conformément aux prescriptions usuelles, remuer périodiquement la terre des nitrières à mesure que les efflorescences blanches paraissaient à la surface. Je ne tardai pas à m'apercevoir que cette pratique n'augmentait pas d'une manière sensible la quantité de nitre répartie dans la masse de terre et j'eus dès lors lieu de penser que le nitre formé et accumulé à sa surface se détruisait par l'enfouissement, au contact des matières organiques que renferme la couche de terre végétale ; des faits nombreux sont venus confirmer cette décomposition du nitre par les matières organiques, et en général par les agents désoxydants, tels que les sels de fer au minimum contenus dans

le sol [1]. Je pris donc le parti d'enlever, à mesure qu'elles se couvraient d'efflorescences blanches, les couches superficielles de la terre, et de les déposer sous un abri afin d'en extraire plus tard le salpêtre lorsque la quantité en serait suffisante, et j'ai eu lieu d'être satisfait de cette manière de procéder.

Quant aux efflorescences de nitre à peu près pur qui se produisaient à la surface des calcaires poreux, je dus dès lors les considérer, malgré leur apparence favorable, comme presque insignifiantes au point de vue de la pratique industrielle, à cause de leur excessive ténuité et de leur volume extrêmement petit par rapport à l'étendue des surfaces sur lesquelles elles se produisent. Je reviendrai plus loin sur ce sujet.

La destruction du nitre mis en contact avec les matières organiques en voie de décomposition dans les nitrières, ne doit pas avoir seulement pour conséquence de condamner la méthode du retournement des nitrières, mais encore de modifier peut-être la méthode de préparation des engrais dans les exploitations agricoles.

Lorsque, par suite du remuement des terres d'une nitrière, où les substances organiques sont déjà à l'état de terreau, on a mis en contact avec ce terreau humide du nitre, il subit probablement, sous l'influence combinée des argiles imprégnées de matières humiques, de l'humidité et de l'air confiné, une décomposition analogue, sinon identique à celle qui se produit dans les argiles sous l'influence de l'humidité et d'une chaleur modérée.

Avant de poursuivre ces considérations, je crois nécessaire d'exposer des expériences que je suis loin de considérer comme décisives, mais qui m'ont conduit à considérer d'une manière que je crois nouvelle les origines de la nitrification. Ces expériences ne sont que le point de départ de recherches que j'ai entreprises et que je poursuivrai dès que mes loisirs me le permettront.

J'avais observé depuis longtemps que certains mélanges abandonnés à eux-mêmes dans mon laboratoire avaient produit des quantités de nitre très-notables. Le premier de ces mélanges

1. Provenant de la réduction des sels de sesquioxyde par les matières organiques.

contenait en proportions indéfinies du cyanure de potassium et du chlorure de chaux, l'évaporation spontanée pendant les mois d'avril et de mai avait concentré ce mélange, et il s'était produit un dépôt salin; la liqueur surnageante renfermait une quantité de nitre considérable.

Le deuxième composé de cyanhydrate d'ammoniaque et de chlorure de potasse a donné un résultat semblable.

J'ajouterai qu'une dissolution de salin provenant de cendres de fougères et oublié dans une éprouvette à la suite d'un essai alcalimétrique, s'est réduite presqu'à siccité, le sel grimpant qui tapissait les parois du vase a donné également à l'essai par le sulfate de protoxyde de fer, les réactions du nitre, mais avec une telle intensité, que je n'ai pas cru pouvoir attribuer la forte proportion d'acide nitrique qu'elle accusait, aux poussières déposées par l'atmosphère dans l'intérieur d'une armoire de mon laboratoire. Or, les cendres d'où l'on avait extrait ce salin contenaient des cyanures alcalins.

Je dois dire qu'en voulant vérifier par l'analyse directe ces premières indications, je n'ai pu que deux fois, sur un grand nombre d'essais, constater la présence de l'acide cyanhydrique dans les matériaux en voie de nitrification de mes nitrières du Mansourah.

J'en étais là, lorsqu'un fait assez curieux vint fixer plus vivement mon attention sur le rôle des cyanures dans la nitrification naturelle. Un officier que j'avais envoyé en mission à Zribet-el-Oued, à 20 lieues est de Biskra, me rapporta deux échantillons, l'un d'une terre qu'il supposait salpêtrée, l'autre de cendres provenant d'un tas d'immondices séculaire en combustion depuis plusieurs années à Zribet-el-Oued. L'échantillon de cendres ayant été lavé à l'eau chaude dans le seul but d'en extraire du salin, et la lessive ayant été réduite à 1/4 de son volume primitif, donna par le refroidissement une belle cristallisation de salpêtre d'une remarquable pureté. Ces cendres, par suite de l'incinération incomplète des matières organiques d'où elles provenaient, contenaient en grande quantité ces matières charbonneuses azotées si favorables à la formation des cyanures en présence des carbonates alcalins. Ce fait semblait, à vrai dire, également confirmer l'hypothèse faite par M. le docteur Millon. On trouvait, en effet, réunis dans la matière nitrifiée le carbo-

nate alcalin, la substance azotée, et le produit humique qu'il considère comme les éléments nécessaires de la nitrification naturelle et dans lesquels le produit humique joue, suivant lui, le rôle de l'allumette qui détermine la combustion des matières azotées.

J'instituai pour éclaircir, si cela était possible, ce phénomène obscur, un système d'expériences directes que je vais vous exposer.

Je pris un creuset de terre ordinaire, haut de 0m15, je le plaçai dans une assiette au fond de laquelle j'avais déposé une petite quantité d'un mélange de 25 grammes de cyanure de potassium, de 10 grammes de carbonate de potasse, de 5 grammes de chaux en poudre et de 5 grammes d'ulmate d'ammoniaque, le tout délayé dans 250 grammes d'eau distillée.

Le niveau du mélange dans l'assiette fut entretenu à 5mm au-dessus du fond. L'appareil fut disposé dans un endroit frais, abrité du soleil et des changements de température trop brusques.

Pendant les premiers jours l'humidité s'éleva dans la masse poreuse du creuset jusqu'à 7 ou 8 centimètres, là elle s'arrêta, et je vis bientôt se produire un léger collier d'efflorescences autour du creuset. Quelques parcelles détachées de ce collier au bout de seize jours, accusaient déjà d'une manière prononcée la présence du nitre [1]. L'expérience fut close au bout de six semaines. Le creuset était alors entouré d'un bourrelet de nitre en fines aiguilles entre-croisées, de 8mm de largeur moyenne, et de 3mm de saillie.

Encouragé par ce résultat, je procédai à une expérience du même genre avec des appareils plus grands. Je pris un tuyau en poterie de 12c5 de diamètre et de 0m40 de hauteur, je le disposai dans le fond d'une terrine vernissée, et je le remplis de fragments de briques concassées de la grosseur d'une noisette. Je préparai 1lit50 d'un mélange semblable à celui dont je m'étais servi pour l'expérience précédente. Au bout de vingt et un jours les efflorescences étaient déjà très-apparentes, elles donnaient par l'essai au sulfate de protoxyde de fer une coloration brune intense.

1. A l'essai par le sulfate de fer.

Le mouvement ascensionnel du liquide, favorisé sans doute par les fragments de brique concassée, s'éleva jusqu'au bord supérieur du tuyau qui se couvrit d'efflorescences de nitre; l'aspect de l'appareil en cet état ayant été reproduit en vue d'un essai photographique, j'en ai recueilli l'image que je joins à cette lettre[1] (*fig.* A).

Je me proposai, à partir de ce moment, de régulariser ce système d'expériences en disposant cinq appareils semblables formés de petits creusets de 8 cent. de hauteur placés dans des coupes en porcelaine vernissée.

Les mélanges destinés à chacun de ces appareils variaient par la suppression de l'une des substances qui entrent dans la troisième. Chacun de ces mélanges était additionné d'une quantité d'eau distillée nécessaire pour compléter 500^{cc}. Ces cinq petites nitrières furent disposées le 29 mars.

Numéros.		Cyanure de potassium.	Ammoniaque liquide à 90°.	Carbonate de potasse.	Chaux.	Ulmate d'ulmine en poudre.
1	Quantités des substances composant les mélanges exprimées en grammes.	80	»	50	5	5
2		»	10	50	5	5
3		80	10	50	5	5
4		80	10	50	»	5
5		80	10	50	5	»

Le 2 avril :

Le n° 1 présente quelques efflorescences ou légères aiguilles entre-croisées.

Le n° 2, quelques croûtes salines.

Le n° 3, rien.

1. Avant de disposer l'expérience que je viens de décrire, je m'étais assuré que le tuyau ne contenait pas de nitrates en quantités appréciables, par l'essai au sulfate de protoxyde de fer. L'abondance des efflorescences ne laissait d'ailleurs aucun doute sur leur origine.

Le n° 4, des efflorescences en aiguilles très-apparentes.

Le n° 5, rien.

Le 3 avril :

Les efflorescences du n° 1 sont plus apparentes que la veille.

Les n°s 2, 3 et 4 sont restés stationnaires.

Les efflorescences ont beaucoup augmenté sur le n° 5, surtout dans la partie opposée au jour.

Le 8 avril :

L'essai par le sulfate de fer dénote une nitrification assez avancée sur le creuset n° 1, le n° 5 donne aussi des indices très-apparents de nitre.

Le 11 avril :

Les progrès de la nitrière n° 1 sont considérables, le n° 5 a progressé, les autres sont demeurés stationnaires.

Après l'essai au sulfate de fer on a augmenté la ration de mélange dans chacun des vases servant de support.

Le 12 avril :

Les résultats sont complétement altérés.

Les efflorescences du n° 1 ont changé d'aspect, et quoique encore très-abondantes, elles donnent, par l'essai au sulfate de fer, une faible coloration bleue provenant d'un léger dépôt de bleu de prusse, indice de la substitution du cyanure au nitrate produit pendant les jours précédents (le sulfate de protoxyde était souillé de petites quantités de sesquioxyde).

A partir de ce moment toute trace de nitrification a disparu, et lorsque six mois après j'ai pratiqué de nouveaux essais sur la matière des creusets détruits et convertis en une poussière mêlée de sels, je n'y ai pas trouvé de traces de nitre.

Que s'était-il passé, et comment l'expérience qui avait déjà réussi deux fois avait-elle échoué après avoir produit d'abord des quantités de nitre assez considérables ? J'avais sans nul doute mal réglé l'opération, je n'avais pas proportionné la quantité et le degré de concentration du liquide que j'employais, à la dimension de mes creusets, à la forme et à la profondeur des vases dans lesquels je les avais placés. Les petites quantités de nitre formées dans les premiers jours avaient été bientôt dissoutes et entraînées par l'imbibition exagérée des creusets. Les quantités surabondantes de cyanure que la capillarité élevait jusqu'au bord des creusets détruisaient le nitre, comme l'excès des matiè-

res organiques détruit le nitre dans une nitrière artificielle mal réglée. La nitrification avait été, en un mot, noyée et absorbée. C'est à des causes du même genre qu'il faut probablement attribuer la lenteur de la nitrification naturelle et les limites de fécondité restreinte qu'elle dépasse rarement.

Afin de vérifier les interprétations que je viens de donner du phénomène qui s'était produit, j'ai disposé un creuset semblable à ceux dont je viens de parler en employant, pour l'imbiber, le liquide préparé pour le creuset n° 1, mais en le diluant dans dix fois son volume d'eau distillée. Le liquide a été ajouté dans le vase inférieur par très-petites fractions, de manière à ce qu'il ne s'élevât jamais à plus de 2^{mm} environ au-dessus de la base du creuset. J'ai obtenu ainsi des efflorescences de nitre au bout de six jours; 150 centimètres cubes de liqueur ont été ainsi employés dans un espace de quatre-vingt-cinq jours, pendant lesquels la quantité de nitre n'avait pas cessé d'augmenter, quoique d'une manière de plus en plus lente, jusqu'à épuisement complet du mélange cyanuré.

Quoique cette expérience fût restée incomplète, il m'était cependant possible d'en tirer quelques conclusions. Premièrement que la présence d'un cyanure est, sinon indispensable pour la production du nitre, du moins très-favorable à son développement; que l'appareil, privé de cette substance et ne recevant l'arrosage azoté que sous forme d'ammoniaque liquide, produisait peu ou point de nitre. Enfin que, toutes choses égales d'ailleurs, l'absence de la chaux paraît contrarier la nitrification. Je me réserve d'ailleurs de confirmer ces observations par des expériences plus précises.

En même temps que je poursuivais ces recherches, je tentai d'appliquer les notions que j'avais acquises dans le cours de mes observations à la production artificielle du nitre.

La porosité des argiles cuites paraissant être particulièrement favorable à la production du nitre, mais en même temps n'aboutissant qu'à une nitrification superficielle, et somme toute peu abondante, je cherchai d'abord, en employant des briques concassées en menus fragments, à multiplier les surfaces nitrifiables.

La matière azotée m'était immédiatement fournie par des fumiers que l'agriculture n'utilise encore qu'en petites quantités en

Algérie, les carbonates alcalins se trouvaient dans les cendres des fours à briques et à chaux, et surtout par celles des bains maures que l'on peut se procurer à vil prix. Je choisis pour quelques-unes de mes expériences des cendres brunes que produit en quantités presque indéfinies un tas d'immondices en combustion déposé à moins d'un kilomètre de la ville.

Voici comment furent disposées ces nitrières.

Sous un hangar construit à cet effet, je fis disposer de petites fosses de 2 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur, et 0m30 de profondeur. Ces fosses furent enduites d'une argile plastique destinée à diminuer la perméabilité du sol; dans chacune de ces fosses on plaça une caisse sans fond, ou cadre en bois, ayant les mêmes dimensions que la fosse en plan, et 0m40 de hauteur. Cette disposition permettait d'arroser les substances déposées dans le cadre par le fond de la fosse de manière à ce que l'humidité revînt à la surface par l'effet de la capillarité, en traversant les mélanges nitrifiables.

La première de ces nitrières établie le 2 juillet 1861, fut formée d'une couche de 0m30 d'un mélange par parties égales de cendres et de fumier consommé. Cette couche fut recouverte sur une épaisseur de 0m10 de fragments de brique concassés de la grosseur d'une petite noix; la demi-longueur de cette couche superficielle était formée de briques très-poreuses, l'autre demi-longueur, des résidus extrêmement durs et compactes d'une fabrication de ciment de tuileaux broyés sous une meule. Cette nitrière, préalablement humectée, a été arrosée journellement par le fond, à raison de 30 litres en moyenne par jour.

La nitrière nº 2, préparée le 8 juillet, fut exclusivement composée de briques poreuses concassées; après une première imbibition elle a été journellement arrosée pendant deux mois par la partie inférieure avec de l'eau de fumier, à raison de 10 ou 15 litres par jour.

La nitrière nº 3, construite le 16 juillet, est composée jusqu'à la hauteur de 0m30, avec des cendres brunes provenant du tas d'immondices brûlé de la ville. Ces cendres étaient recouvertes d'une couche de briques poreuses écrasées; les arrosages ont eu lieu journellement avec de l'eau de fumier, à raison de 30 litres par jour.

DÉSIGNATION DES NITRIÈRES.	DATE de L'INSTALLATION	DATE de L'ESSAI [1].	QUANTITÉ DE NITRE pour 100.	OBSERVATIONS.
Nº 1. Couche de $0^m,30$ de cendres et fumier consommé bien mélangés, recouverte d'une couche de $0^m,10$ de brique. La moitié antérieure est formé de fragments durs de briques ayant résisté à la meule d'un manege à ciment de tuilaux, la moitié postérieure est formée de briques tendres concassées.	2 juillet 1861..	3 novembre 1863. Id.........	1k.20 1 .40	Briques dures.. / Briques tendres. } Dès le 26 décembre 1861, les efflorescences de nitre commencent à être visibles
Nº 2. Entièrement composée de briques concassées....	8 juillet 1861..	4 novembre 1863.	1 .20	Le 24 décembre 1861. Efflorescences visibles.
Nº 3. Couche de $0^m,30$ de cendres noires du tas d'immondices de la ville, recouverte d'une couche de $0^m,10$ de briques écrasées..........................	16 juillet 1861.	octobre 1863..	6 .00	25 décembre. Efflorescences visibles.
Nº 4. Couche de $0^m,30$ de cendres blanches provenant du tas d'immondices de la ville, recouverte d'une couche de $0^m,10$ de briques écrasées..................	18 juillet 1861.	30 octobre 1863..	1 .53	21 decembre. Efflorescences très-visibles.
Nº 5. Couche de $0^m,30$ composée de trois parties de cendres noires et d'une partie de cendres blanches provenant du tas d'immondices de la ville et mélangées ensemble. Cette couche est recouverte d'une épaisseur de $0^m,10$ de briques écrasées..........................	22 juillet 1861.	30 octobre 1863..	1 .73	24 décembre. Efflorescences visibles.

1. La date des essais est celle du prélèvement de l'échantillon soumis à l'essai.

N. B. A partir du mois d'avril 1862, toutes les nitrières construites et celles qui l'ont été depuis sont arrosées avec de l'eau et du fumier.

DÉSIGNATION DES NITRIÈRES.	DATE de L'INSTALLATION	DATE de L'ESSAI.	QUANTITÉ DE NITRE pour 160.	OBSERVATIONS.
Nº 6. Couche de $0^m,35$ de cendres noires des immondices de la ville, recouverte de $0^m,05$ de briques écrasées en fragments plus menus que la précédente...........	1er février 1862.	28 octobre 1863..	1k.93	12 mars 1862. Efflorescences visibles.
Nº 7. Couche de $0^m,35$ de cendres noires des immondices de la ville, recouverte de $0^m,05$ de travertin poreux écrasé très-fin..................................	11 février 1862.	28 octobre 1863..	2 .52	4 mars. Efflorescences visibles.
Nº 8. Couche de $0^m,35$ de cendres de fumiers d'écurie, recouverte de $0^m,05$ de travertin poreux écrasé très-fin..	17 février 1862.	23 octobre 1863..	»	Pour cette nitrière et les suivantes on n'a point observé l'époque de l'apparition des efflorescences. Je ne mentionne que pour mémoire que le numéro 8 a donné $3^m,53$ pour 100 et le numéro 9, $6^m,33$. L'état des matériaux soumis à l'essai dans ces deux nitrières, me laisse des doutes sur l'exactitude du résultat.
Nº 9. Couche de $0^m,35$ de cendres de four à chaux, humectées et damées, recouverte de $0^m,05$ de travertin poreux écrasé................................	28 mars 1862..	19 obtobre 1863..	»	
Nº 10. Couche de $0^m,35$ de cendres noires des décombres de la ville, recouverte de $0^m,05$ de briques écrasées très-fin....................................	14 mars 1862..	23 octobre 1863..	3 .00	
Nº 11. Couche de $0^m,30$ de cendres de fumier d'écurie, recouverte de $0^m,03$ de charbon de bois en poudre grossière, et de $0^m,05$ de briques écrasées en très-menus fragments.	2 avril 1862..	26 juin 1862.....	3 .50	
	Id.......	19 octobre 1863..	6 .00	

Le 24 décembre on a remarqué quelques efflorescences de nitre à la surface des nitrières nos 1 et 2.

Dès le 19 novembre, la nitrière n° 3, construite la dernière, avait donné des efflorescences relativement abondantes.

Dès que la nitrification devint apparente, je procédai à des essais fréquents en opérant comme il suit.

Un petit cadre de fer plat, de forme carrée, dont le côté était une sous-division exacte de la longueur et de la largeur de la nitrière, était placé en un endroit déterminé de sa surface, on prélevait dans l'étendue de ce cadre et sur une profondeur de 0m03 à 0m04, une couche de briques concassées de manière à former un poids de 2 kil. environ. Cette matière était ensuite placée dans le cylindre d'un grand appareil à déplacement en cuivre construit à cet effet; une fois l'épuisement accompli, la dissolution était réduite à 1 litre. Les portions de ce liquide soumises aux essais étaient étendues de manière à former un volume cent fois plus grand.

Les dosages de nitre dans ces expériences ont été faits avec de la teinture d'indigo employée comme je vais le dire. L'indigo avait été simplement lavé d'abord à l'eau distillée chaude, puis avec de l'eau distillée froide jusqu'à ce que le liquide fût complétement incolore. 10 grammes de cet indigo desséché avaient été chauffés légèrement avec 60 grammes d'acide sulfurique concentré et exempt de nitre. Quelques gouttes de cette dissolution avaient été additionnées d'une quantité d'eau, telle que 25 gouttes de la liqueur bleue étaient décolorées par 0m005 de nitre pur en dissolution dans 5 centimètres cubes d'eau auxquels on avait ajouté préalablement 5 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré.

Les imperfections de cette méthode sommaire et l'impureté de la matière colorante ne l'empêchaient pas de donner, cependant, des résultats assez comparables entre eux, et de dénoter au moins l'accroissement du nitre, sinon sa production absolue.

Ainsi ,en faisant varier la quantité de nitre à doser, j'ai obtenu presque toujours des chiffres à peu près proportionnels pour les nombres de gouttes de teinture décolorée.

Une liqueur contenant 0g005 pour 5 centimètres cubes d'eau a donné pour quatre essais 115, 123, 124 et 133 gouttes au lieu de 125 que j'aurais dû trouver si le premier essai devait être

considéré comme exact. 0g0025 de nitre contenus dans 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve, ont exigé dans trois essais successifs 58, 57 et 58, au lieu de 62.50 que j'aurais dû trouver.

Pour des épreuves où je ne demandais qu'à constater d'une manière prompte et facile la production et l'accroissement du nitre, je pus me contenter de cette méthode expéditive, d'autant qu'elle devait être pratiquée le plus souvent par des subalternes. Je crus cependant devoir la compléter par le procédé suivant, pour détruire préalablement les substances organiques que renferment toujours en quantités assez notables les lessives de matières en voie de nitrification.

Pour oxyder les matières organiques, j'introduisis dans un verre un très-petit fragment de manganate de potasse qui colore légèrement en vert l'eau distillée qu'on verse dessus. Cette dissolution doit être assez faible pour que l'agitation la fasse promptement virer à la couleur rose. C'est ce réactif, d'une sensibilité extrême que je verse jusqu'à persistance de la teinte rosée dans la liqueur soumise à l'essai.

Des épreuves comparées faites sur des dissolutions de nitre pur mêlées avec des quantités déterminées de tannin suivant que l'on dosait directement par la teinture d'indigo où que l'on faisait précéder ce dosage d'un traitement par l'hypermanganate de potasse à l'état de dilution extrême que je viens de dire, ont donné des résultats assez concordants [1].

Les dosages de nitre ont commencé le 21 mars 1862 sur les trois premières nitrières, ils ont été continués jusqu'au milieu de cette même année; ils n'ont été repris, pour l'ensemble des onze nitrières successivement organisées au commencement de 1862, que dans le mois d'octobre dernier. Ces résultats récents sont les seuls que je rapporterai ici, parce qu'ils ont été exécutés presque simultanément, et qu'il importe en usant d'une méthode imparfaite, d'en rendre les résultats aussi comparables que possible.

Désormais les dosages à faire soit sur les nitrières existantes, soit sur les nouvelles nitrières qui seraient établies à l'avenir, seront exécutés suivant la méthode si précise que vous avez fait

1. Cette méthode me paraît susceptible de perfectionnement et de précision.

connaître, et dont vous m'avez montré vous-même la pratique avec une bienveillance dont je suis vivement reconnaissant.

Je n'ai appliqué jusqu'ici ce procédé qu'à des essais de laboratoire. Je devrai, avant de donner suite à mes observations sur les nitrières, rendre imperméables les fosses qui les contiennent afin d'éviter une grave cause d'irrégularité résultant des pertes du liquide d'arrosage par infiltration.

Je crois pouvoir conclure de ces expériences : 1° Que la nitrification superficielle si insuffisante (malgré les apparences favorables), quand on se borne à des surfaces planes et continues, peut être notablement augmentée quand on en multiplie l'étendue en divisant le volume des matières de support en mêmes fragments; que les cendres mêlées de charbon azoté favorisent beaucoup la nitrification.

Il reste à interpréter ce dernier fait que semble confirmer à la fois la théorie développée par M. le docteur Millon, sur le rôle des matières humiques, et celle que j'ai cru pouvoir énoncer sur le rôle des cyanures dans la nitrification spontanée. Je n'ai donc à l'appui de mon hypothèse que les expériences directes que j'ai pu faire sur la nitrification des cyanures. Or, je suis loin de les considérer comme résolvant la question d'une manière absolue, et je me suis réservé de la reprendre en leur donnant, si cela est possible, un caractère plus décisif.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance du respect avec lequel je suis votre très-dévoué serviteur,

Ch. CHABRIER.

EXPÉRIENCES

SUR UNE CHEMINÉE

EN USAGE

Dans les Casernes et dans les Hôpitaux d'Angleterre.

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

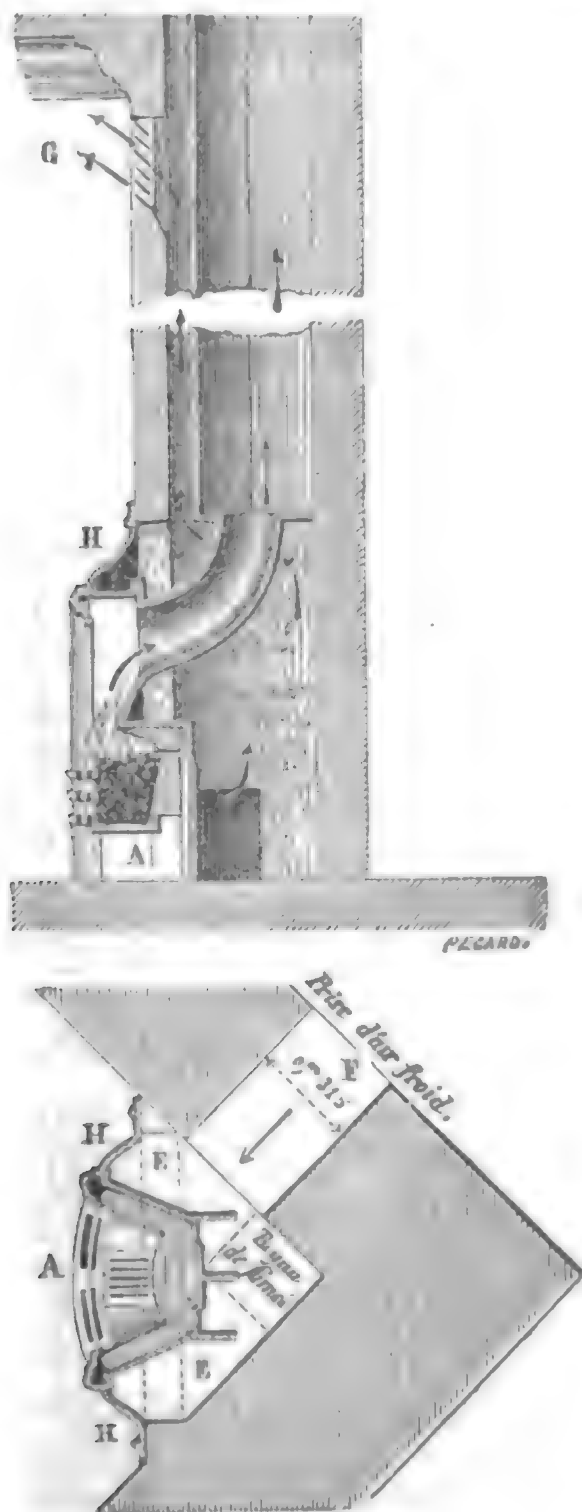
J'ai fait connaître dans le 1er volume de mes *Études sur la ventilation* la disposition des cheminées dont l'usage a été adopté par le gouvernement anglais pour le chauffage et la ventilation des chambres des casernes; mais, à l'époque où je publiai ces études, je n'avais pas eu d'occasion de faire des expériences sur les résultats que l'on peut obtenir avec ces appareils au double point de vue de l'évacuation de l'air vicié et de la rentrée de l'air nouveau.

Afin de m'éclairer sur la valeur de ces cheminées, dont la construction me paraît constituer un progrès notable des appareils de chauffage, j'en ai fait venir une du modèle simple destiné aux chambres de soldats, et je l'ai fait installer au Conservatoire des Arts et métiers, dans une pièce de dimension moyenne, ayant 5m,14 de longueur sur 3m,94 de large et 4m,46 de hauteur, et par conséquent 90mc,33 de capacité.

Ces cheminées en fonte, dont la disposition est due à M. Douglas-Galton, du corps royal des ingénieurs militaires, se composent d'un foyer fait pour brûler de la houille ou du coke, garni sur ses parois intérieures de briques en terre réfractaire, destinées à conserver assez de chaleur pour faciliter l'entretien et le renouvellement du feu. Ce foyer porte à sa partie postérieure des appendices plans qui augmentent la surface d'émission de la chaleur. La grille n'a qu'une surface égale au tiers environ

de celle du foyer, ce qui modère l'activité du feu et par suite la consommation de combustible.

Cette cheminée, d'une construction fort simple, doit être complétement isolée du mur qui reçoit le conduit de fumée de



manière qu'il existe entre la partie postérieure de son foyer et ce mur un intervalle libre et clos destiné à former une chambre à air, EE, dans laquelle, par une ouverture F, pratiquée, près du

sol, dans le mur; l'air extérieur peut s'introduire et s'échauffer au contact du foyer de ses appendices en fonte et du tuyau de fumée, qui doit être dans toute la hauteur de la pièce isolé des murs aussi complétement que possible.

La chambre à air est prolongée jusqu'au plafond et à sa partie antérieure ou sur ses faces on ménage un orifice G, auquel on adapte une garniture en fonte, munie de cloisons analogues à celles d'une persienne et inclinées de manière à diriger l'air affluent vers le plafond, afin que sa vitesse s'éteigne en tourbillonnements, avant qu'il ne rentre dans le courant inférieur déterminé par l'appel de la cheminée.

L'appareil est composé de trois pièces, le foyer proprement dit A, le tuyau de fumée et le manteau H.

Le foyer est posé sur le plancher ou sur une aire en briques, préparée pour le recevoir et circonscrite par une galerie en fonte. Il reçoit le tuyau de fumée, qui lui est réuni par des boulons, et les instructions recommandent de garnir avec soin le joint avec du mastic de minium, pour éviter le passage de la fumée. Ce tuyau est engagé dans le conduit proprement dit de la cheminée, qui doit autant que possible être isolé des murs, comme nous l'avons dit.

Le manteau H est placé en avant du foyer, auquel il est fixé par des vis; ce qui permet de l'en séparer et de le retirer pour le nettoyage de la chambre à air, et même pour le ramonage, si on est obligé d'enlever le foyer.

Il est convenable que la prise d'air extérieur soit garnie d'une toile métallique à très-larges mailles, et, dans les habitations privées, munie d'une porte ou d'un registre qui permette de la fermer. Mais, dans les casernes, il ne faut pas que cette fermeture soit à la disposition des soldats, qui ne manqueraient pas de la clore toujours.

La garniture de briques réfractaires est un peu isolée du fond du foyer et présente même un orifice entre les deux briques supérieures. Cette disposition a pour objet de permettre l'établissement d'un petit courant d'air, qui, s'introduisant par le cendrier, vient déboucher au-dessus du combustible pour brûler en partie la fumée. Il est au moins douteux que le résultat soit obtenu, et, si le courant d'air est actif, il enlève inutile-

ment de la chaleur au fond du foyer destiné à échauffer l'air à introduire.

Proportion des orifices et des conduits pour le passage de l'air. — Dans les instructions rédigées par M. Douglas-Dalton, les proportions de cette partie de l'appareil sont réglées d'après la capacité des chambres de casernes, qui est de $16^{mc}.80$ par homme, et d'après le volume d'air à renouveler fixé à $33^{mc}.60$ par homme et par heure; mais, pour l'étude qui nous occupe, ce sont plutôt les rapports de ces proportions entre elles et aux volumes d'air écoulés qu'il s'agit d'étudier et de comparer.

La section du conduit de fumée de la cheminée est de $550^{cent.q}$, et le volume d'air écoulé ayant été, comme on le verra, de $513^{mc.}$ en moyenne par heure, ou de $0^{mc.},142$ en $1''$ la vitesse moyenne d'écoulement a été de $2^{m},60$ en $1''$, ce qui suffit pour assurer la stabilité du tirage, malgré l'action du vent.

La proportion de cette section pourra donc être déterminée d'après le volume d'air à évacuer, par la condition que la vitesse moyenne soit de $2^{m},50$ à $3^{m}00$ en $1''$.

L'orifice d'admission dans la chambre à air doit être au moins égal en superficie à la section de la cheminée, et si, au lieu d'ouvrir directement à l'extérieur, comme dans nos expériences, il est placé à l'extrémité d'un conduit de plusieurs mètres de longueur, passant sous des planchers ou dans les épaisseurs des murs, il sera bon de lui donner une section un peu plus grande.

Dans nos expériences, cet orifice avait $634^{cent.q}$, ce qui était plus que suffisant.

L'instruction anglaise recommande de clore la chambre à air à hauteur de la partie supérieure du manteau par une tablette en pierre, percée d'une ouverture dont la section ne soit que les deux tiers de celle du tuyau qui doit amener l'air nouveau dans la pièce. Le motif énoncé de cette disposition est d'opposer un obstacle aux effets des bourrasques extérieures qui pourraient accidentellement produire des introductions trop brusques dans l'intérieur. L'étranglement, ainsi ménagé dans le passage de l'air, peut bien effectivement atténuer un peu l'effet des bourrasques; mais il a l'inconvénient de gêner, en tous temps, le passage de l'air nouveau, qu'il convient au contraire de favoriser le plus possible.

L'usage d'un registre en permettant de modérer, selon le temps et l'activité du feu, l'introduction de l'air extérieur, nous paraît préférable, et il nous semble aussi qu'il conviendra presque toujours de supprimer la tablette, et de prolonger la chambre à air jusqu'au plafond, pour profiter de toute la chaleur que l'air pourra emprunter au tuyau de fumée.

La surface totale de la grille est à peu près les 0,40 de la section de la cheminée, et la surface libre pour le passage de l'air en est le dixième; ce qui modère la consommation de combustible et suffit pour l'entretien du feu.

Effets de l'appareil.— D'après la description succincte que nous venons de donner, il est facile de concevoir les effets de cet appareil.

L'action du feu allumé dans le foyer détermine, comme dans les cheminées ordinaires, l'appel et l'évacuation de l'air intérieur de la chambre et subsidiairement la rentrée d'un certain volume d'air nouveau, qui s'échauffe en parcourant la chambre à air.

La proportion de ces deux volumes d'air entre eux dépend de celles des orifices, de l'activité du feu, du nombre des portes et des fenêtres, de leur clôture plus ou moins parfaite; mais, dans l'état habituel, le volume d'air ainsi introduit échauffé peut s'élever à 0.80 et plus du volume d'air évacué.

L'appareil offre donc l'avantage de restreindre dans une proportion considérable l'appel, parfois si gênant, que les cheminées occasionnent par les joints des portes et des fenêtres, et d'introduire dans les appartements de l'air chaud au lieu d'air froid. La température de l'air affluent est d'ailleurs d'autant plus modérée que son volume est plus grand, et dans les expériences dont nous allons faire connaître les résultats, elle a été de 30° à 36° au plus. La vitesse d'arrivée, dirigée vers le plafond, étant d'ailleurs, comme nous venons de le dire, complétement éteinte par les tourbillonnements, l'on ne ressent nullement son influence.

La cheminée essayée au Conservatoire était du plus petit modèle adopté pour les casernes, et les circonstances locales ont obligé à la placer dans un angle de la pièce à chauffer; mais elle n'en a pas moins fonctionné d'une manière complétement satis-

faisante à tous les points de vue, comme on pourra en juger par les résultats des expériences que nous allons faire connaître.

Résultats des expériences. — Les expériences ont été exécutées les 4, 5 et 6 octobre 1864, alors que la température extérieure était de 13 à 14° et le vent du nord assez fort. Dans les trois séances, le feu s'est allumé avec la plus grande facilité et le tirage s'est établi de suite.

La température de l'air introduit a varié de 30 à 36°, excédant ainsi celle de l'air extérieur de 17 à 22°; ce qui serait suffisant même par des temps très-froids. — Celle de la pièce a pu être maintenue facilement sans pousser le feu à 19 et 20°, c'est-à-dire à 6° au-dessus de celle de l'air extérieur, quoique les dispositions prises pour déterminer le volume d'air évacué empêchassent en grande partie l'émission de la chaleur rayonnante du foyer, qui est, au contraire, disposé très-favorablement sous ce rapport.

Nous ne rapporterons pas ici tous les résultats des expériences et nous nous contenterons d'en faire connaître les principaux et leurs conséquences.

L'expérience du 4 octobre n'avait pour but que de faire de premiers essais préparatoires, qui ont permis de constater déjà la bonne marche de l'appareil; nous les passerons donc sous silence parce qu'elle nous ont conduit à une modification de la prise d'air.

Le 5 octobre, l'on a allumé le feu à $10^h,30'$ du matin et les observations ont été continuées jusqu'à $10^h,15'$ du soir.

La quantité de charbon employée a été de 10 kil., le chargement en a été réparti par petites portions et terminé à $4^h,25'$, c'est-à-dire après $6^h,5'$ d'allumage. Mais la combustion n'a été complétement terminée qu'à $9^h,25'$ du soir, et la température de la chambre était encore de 18° environ.

L'évacuation de l'air vicié a atteint à partir de 11^h une régularité très-satisfaisante. Le volume maximum évacué par heure a été de 562^{mc}, le minimum de 466^{mc}, le volume moyen entre 11^h et $4^h,25'$ a été de $513^{mc},74$ par heure.

L'introduction d'air s'est accrue graduellement à partir de 11^h jusque vers midi à mesure que l'appareil s'échauffait. Depuis

midi 30′ jusqu'à $4^h,25'$ elle a été en moyenne de $412^{mc},30$ par heure soit 0,80 du volume d'air évacué.

A partir de 5 heures ou 35′ après le dernier chargement, ce volume d'air introduit a successivement diminué; mais à $8^h,45'$, il n'était réduit qu'à $289^{mc},94$ et à $10^h,15'$ du soir, il entrait encore $151^{mc},62$ par heure dans la chambre.

Tous les résultats des observations sont consignés dans le tableau de la page ci-contre :

Conséquence des résultats des expériences du 5 *octobre* 1864. — Dans cette expérience, la consommation totale a été de 10 kil. sur lesquels il est resté $2^k,22$ d'escarbilles et de charbon non brûlé équivalant au plus à 1 kil. de charbon. La consommation a donc été de 9 kil.

Le dernier chargement a été fait à $4^h,25'$, c'est-à-dire après 6 heures d'allumage, et l'on peut estimer que les 9 kil. ont été brûlés en 7 heures au moins. La consommation par heure a donc été de $\frac{9}{7} = 1^k,30$ au plus.

Le volume d'air moyen évacué a été entre 11^h et $4^h,30'$ de $513^{mc},74$ par heure pris dans la chambre à 20° et élevé dans la cheminée à l'étage supérieur à 66°. Sa température a donc été augmentée de 46°, et il a emporté

$$513^{mc},74 \times 1^k,209 \times 46^\circ \times 0,237 = 6879 \text{ calories.}$$

Le volume d'air introduit par heure a été en moyenne de $412^{mc},30$ par heure ou 0,80 du volume extrait. Le volume d'air entré par les portes et les fenêtres a donc été de 0,20 seulement du volume évacué.

L'air introduit étant entré à la température moyenne de 29°,3 et la température extérieure étant de 14°, il avait éprouvé un accroissement de température de 15°,3.

Le nombre d'unités de chaleur qu'il a acquises était donc de

$$412^{mc},30 \times 1^k,234 \times 15^\circ,30 \times 0,237 = 1837 \text{ calories.}$$

Par conséquent la chaleur totale absorbée par l'air a été pour

l'air évacué et en pure perte pour le chauffage	6879 calories
pour l'air introduit et au profit du chauffage. .	1837
Total par heure. . .	8716

Expériences faites sur la Cheminée de caserne établie au Conservatoire des Arts et Métiers, le 5 octobre 1861.

OBSERVATIONS.

Les portes et les fenêtres de la chambre sont fermées mais non calfeutrées. — La prise d'air froid a été agrandie sa section est de 0mq,074125. — La section du tuyau placé devant la cheminée est de 0mq,135265. — La tare de l'anémomètre employé (n° 22) est : V = 0,14 + 0,0948 N.

Le grillage en jalousie d'arrivée de l'air a quatre orifices, de 0m,66 de large, 0m,024 d'orifice libre. — Surface de passage 4 × 0,66 × 0,024 = 0mq,0634.

Heures des observations.	Température extérieure.	Température dans la salle chauffée.	Température de l'air chaud à son arrivée dans la salle.	Température dans la cheminée à 6m,50 de hauteur.	Température dans la cheminée à 11m,87 de hauteur.	Durée des observations.	Arrivée d'air froid. Nombre total de tours de l'anémomètre pendant la durée de chaque observation.	Extraction de l'air. Nombre de tours de l'anémomètre pendant la durée de chaque observation. Tuyau placé devant la cheminée.	Volume de l'air nouveau introduit régulièrement par heure.	Volume de l'air chaud extrait par heure.	Observations
h. m.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	min.	t.	t.	mèt. cub.	mèt. cub.	
10.30	»	16	»	»	36 à 11h40	»	»	»	»	»	Allumage. La surface totale de la grille = 0mq,0206. La surface libre.......... = 0mq,0058.
11	12.25	»	22	»	51	2	1192	1203	258,36	552,96	
11.30	12.50	»	21	»	56	2	1215	1114	293,04	495,72	
12	»	»	»	»	48	2	1221	1188	294,12	523,90	
12.30	14	19	27.5	»	45	2	1728	1269	379,06	554,04	
1	14.3	»	29	77	59	2	1934	1288	416,88	562,30	
1.30	14.5	»	30	62	52	2	1853	1195	422,94	526,82	
2	14.75	»	30	63	50	2	2400	1183	542,64	520,02	
2.30	15.75	»	30.2	60	52	2	1893	1123	433,58	499,12	
3	15.50	20.25	29.25	53	46	2	1596	1042	314,52	466,56	
3.30	15.75	20.25	29.50	55	48	2	1654	1063	385,70	478,28	
4	»	»	»	50	50	»	»	»	»	»	
4.25	14.75	20.5	30	»	»	2	1508	1055	353,78	471,42	Dernier chargement de charbon.
Moyenne.	14	20	29.3	66		2			412,30	513,74	
4.30	»	»	»	50	47	»	»	»	»	»	
5	13.75	20*	»	58	48	2	1338	1050	319,20	471,42	
5.30	»	20.75*	»	61	50	»	»	»	»	»	* Température à 0m,20e au-dessus du sol de la chambre. * Température à 0m,20e environ au-dessous du plafond.
6.10	12.5	»	29.5	»	48 à 6h	2	1220	995	292,60	447,12	
6.50	»	»	28.5	45	41	»	»	»	»	»	
7	11.75	20*	28.5	»	»	2	1075	830	263,34	388,80	* Le thermomètre était placé sur une chaise.
8.15	»	18.5	23.5	»	»	2	»	860	—	398,52	
8.45	9.8	»	»	»	»	2	1210	»	289,94	»	Id. id.
9.25	9	»	22	»	»	2	775	737	199,30	439,92	Il y a encore une assez grande quantité de combustible.
10.15	8.25	»	19	»	»	2	550	630	151,62	311,04	Le feu s'éteint.

On a consommé pendant l'expérience 10 kilogrammes de houille, desquels il reste 2k,220 d'escarbilles et charbon brûlé incomplétement.

Quelques-unes des observations ont été faites dans le conduit d'air froid aussitôt après la fermeture de la porte de la chambre, ce qui explique quelques remous qui ont pu avoir lieu dans ce conduit; mais le même fait se produit aussi au moment des coups de vents qui causent des tourbillonnements à l'entrée de la prise d'air.

Les 10 kil. ont été brûlés en 9h,15m, sauf 2k,22 d'escarbilles.

La consommation de charbon par heure a été de $1^k,30$ qui ont développé environ $1,3 \times 8000 = 10400$ calories.

Sur ce nombre d'unités de chaleur l'air évacué aurait emporté

$$\left.\begin{array}{lr} \frac{6879}{10400} = \ldots\ldots & 0,66 \\ \text{L'air introduit en aurait amené } \frac{1837}{10400} = & 0,18 \\ \text{Le reste} \ldots\ldots & 0,16 \end{array}\right\} 1,00$$

serait absorbé par les parois ou introduit par le rayonnement.

Si l'on se rappelle que dans les expériences faites sur une cheminée ordinaire établie dans des conditions analogues dans le cabinet de la direction du Conservatoire, la quantité de chaleur emportée par l'air évacué était de 6794 calories par kil. de houille brûlée [1] ou de $\frac{6794}{8008} = 0,84$ de la chaleur totale développée, l'on voit que, dans les expériences sur la cheminée de M. Douglas-Dalton, la circulation de l'air a bien absorbé la même proportion totale de la chaleur développée par le combustible, mais que l'évacuation n'en a entraîné en pure perte pour le chauffage que 0,66, et que l'air nouveau introduit en a fait pénétrer dans la chambre 0,18.

Il faut de plus remarquer que cet air introduit avait une température de 29°,30 et que son volume étant les 0,80 du volume total évacué par la cheminée, il n'est entré par les portes et les fenêtres dans la chambre que les 0,20 de celui-ci ou environ $101^{mc},4$ d'air à 14° qui, par leur mélange avec l'air chaud introduit, ont été amenés à la température de la pièce ou à 20°, et ont ainsi emprunté à l'appareil de chauffage environ :

$$101^{mc},4 \times 1,234 \times 6^\circ \times 0,237 = 177,6 \text{ calories,}$$

tandis que si l'alimentation d'air nouveau avait dû être, comme à l'ordinaire, produite par les portes et les fenêtres, le volume total d'air introduit serait entré à 14° et que, pour l'élever à 20°, il eût fallu emprunter à l'action du combustible rayonnant

$$513^{mc},74 \times 1,234 \times 6 \times 0,237 = 634 \text{ calories.}$$

1. *Études sur la ventilation*, t. I, p. 306.

La disposition de la cheminée anglaise produit donc pour l'échauffement de l'air introduit une économie de 456 calories; mais elle a surtout l'avantage de diminuer dans une proportion très-considérable les courants et les appels d'air extérieur, souvent si gênants avec les cheminées ordinaires.

Avantage de l'alimentation directe d'air nouveau. — L'alimentation d'air extérieur directement produite par la cheminée présente, en outre, l'avantage de permettre de garnir de bourrelets les fenêtres et les portes des appartements, sans s'exposer à voir le tirage contrarié et la fumée envahir l'intérieur des appartements. C'est ce que j'ai constaté par des observations directes en faisant clore exactement à l'aide de bandes de papier collées, les joints des deux fenêtres et d'une porte de la chambre où j'opérais, et en ne laissant libre qu'une seule porte nécessaire pour la circulation.

Malgré cette clôture des joints d'accès de l'air, le tirage a conservé toute son activité, le volume d'air évacué par heure est resté le même. Le conduit d'arrivée d'air et la porte libre, mais fermée, ont suffi pour l'alimentation de la cheminée.

Enfin, il résulte aussi de cette disposition que deux pièces contiguës peuvent être mises en communication par une porte ouverte, sans que le tirage de leurs cheminées soit contrarié, pourvu, du reste, que leurs conduits aient la hauteur et les proportions convenables. C'est ce qui a été constaté le 7 octobre de la manière suivante : dans l'une des deux pièces, qui a une cheminée ordinaire, l'on a allumé à 7 heures du matin un bon feu, et à 9 heures, quand il eut acquis toute son activité, l'on a ouvert la porte de communication avec la pièce voisine, puis on a allumé le feu de la cheminée anglaise. Malgré ces conditions défavorables de l'expérience, le tirage de celle-ci n'a été nullement gêné par l'action de la cheminée de la pièce voisine et le feu s'y est très-bien allumé.

Proportions à donner aux prises d'air. — Lors de la première expérience faite le 4 octobre, l'orifice de prise d'air extérieur avait été ménagé beaucoup trop petit par les maçons et de $0^{mq},0182$ seulement, malgré les instructions qui leur avaient été données. L'appareil fonctionnait bien, mais le volume d'air

introduit n'était en moyenne que de 260^{mc},4 par heure quand le vent ne contrariait pas l'appel, et cet air affluait dans l'appartement à une température moyenne de 33°.

L'ouverture d'appel ayant été augmentée et portée à 0^{mq},0741, c'est-à-dire plus que quadruplée, le volume d'air introduit a été doublé et sa température n'a été abaissée que de 4°; elle est descendue à 29°,3 en moyenne, ce qui est encore bien suffisant.

Le débouché, offert par le grillage à jalousies qui amène l'air dans la salle vers le plafond, offre un passage libre de 0^{mq},0634. Il serait donc inutile d'augmenter l'ouverture de prise d'air extérieur. D'une autre part, puisque le volume d'air introduit s'est élevé en moyenne à 412^{mc},30 par heure ou à 0^{mc},115 en 1", il en résulte que la vitesse avec laquelle cet air débouchait vers le plafond, était d'environ 1^{m},80 en 1"; ce qui est bien supérieur à celle de 0^{m},50 à 0^{m},60 que j'ai cru pouvoir indiquer comme limite; mais, quand le feu baisse ou cesse, cette vitesse diminue beaucoup.

Température et circulation de l'air affluent. — D'une autre part, dans l'expérience du 5 octobre cet air arrivait à 29°,3, tandis que la température de l'air extérieur était de 14°; différence 15°,3. La température de la chambre était de 20°. L'air affluent avait donc 9°,3 de plus, ce qui est convenable et montre que l'hiver, quand la température extérieure serait à zéro et même au-dessous, il serait encore facile de faire arriver l'air extérieur à une température suffisante pour qu'il ne gênât pas. Il serait d'ailleurs toujours plus chaud que celui qui passerait directement du dehors au dedans par les joints des portes et des fenêtres.

Enfin, la disposition donnée aux jalousies de l'orifice supérieur d'arrivée de l'air en le dirigeant vers le plafond, et l'appel exercé vers le bas par la cheminée déterminait une circulation tellement complète de l'air dans la pièce, que des ballons légers remplis de gaz hydrogène, abandonnés devant l'orifice supérieur, étaient entraînés dans toute l'étendue du plafond vers les murs opposés, qu'ils y descendaient dans les angles vers le sol, et indiquaient ainsi la marche générale de l'air.

D'une autre part, un thermomètre placé à différentes hauteurs a marqué :

A 0m,20 au-dessus du sol . . . . 20°
A 0m,60 au-dessus du sol. . . . . 20°
A 1m,96 au-dessus du sol. . . . . 20°

Ce qui est un nouvel indice du mélange complet de l'air chaud affluent avec celui de la chambre.

Observation relative au volume d'air chaud introduit. — L'on remarquera que dans les expériences du 5 octobre le volume d'air nouveau, introduit par l'appareil a été de 412mc.30, à la température modérée de 29°.3 ; tandis que dans nos études sur la ventilation [1] nous avons constaté par expérience qu'une bouche de chaleur d'un appareil Fondet, sous l'action d'un feu actif, ne fournissait qu'un volume d'air nouveau de 19mc par heure à une température de 130°, intolérable vu la proximité de la bouche.

Une autre expérience [2], faite sur une bouche de chaleur d'un calorifère à air chaud, avait démontré que cette bouche de 0mq.0324 d'ouverture ne débitait que 133mc.2 par heure, quand la température de cet air était de 45 degrés ; mais que si souvent son débit s'élevait à 150 ou 160mc par heure, cela n'arrivait que quand la température de cet air s'élevait à 70 ou à 100 degrés.

L'on voit donc que sous le rapport du volume et sous celui de la modération de la température, la cheminée anglaise présente des avantages notables par rapport aux calorifères d'une disposition ordinaire. Cela ne tient du reste qu'aux larges proportions des orifices d'admission et de circulation de l'air.

La capacité de la chambre dans laquelle les expériences ont été faites est de 90mc.327. Le volume d'air évacué par heure ayant été pendant la durée du feu de 513mc.74, il s'ensuit que l'air de cette pièce a été renouvelé $\frac{513.74}{90.327} = 5.69$ fois par heure ; ce qui constitue une ventilation largement suffisante pour une chambre qui a 3m.94 sur 5m.14 dans le sens horizontal, ou 20mq.25 de superficie, puisqu'en y supposant même 20 personnes réunies, chacune d'elles aurait joui d'un renouvellement de plus de 25mc d'air.

1. T. I, page 302.
2. T. I, page 297.

D'après les proportions réglementaires admises en France, cette chambre ne pourrait servir qu'à trois sous-officiers, à raison de $6^{mq.}$ environ de superficie par homme, et alors la ventilation observée dans les expériences correspondrait à un renouvellement d'air de plus de 100^{mc} par homme et par heure.

En admettant que pour les chambres de soldats, la capacité cubique des chambres ne doive être que de 12^{mc} par homme, ce qui nous paraît trop peu, une pièce de 90^{mc} suffirait pour sept hommes, et lorsque cette cheminée évacuerait $513^{mc}.74$ par heure, cela correspondrait à une ventilation de 73^{mc} par homme et par heure.

Les expériences ayant montré que près de six heures après que le feu eût été alimenté pour la dernière fois, le volume d'air évacué était encore de 311^{mc} par heure, cela correspondrait à une ventilation de plus de 44^{mc} par heure, largement suffisante.

La cheminée n'ayant consommé que 10 kilog. pour entretenir une température de $14^{0}.3$ au-dessus de celle de l'air extérieur, dans une pièce inhabitée, de 90^{mc}; la consommation serait à peine de 15 kilog. par jour pour une chambre de 150^{mc}, suffisante pour dix hommes, en admettant encore que le feu dût être entretenu plus de six heures par jour, ce qui est exagéré.

Observation sur le chauffage des chambres de casernes. — L'instruction du 30 juin 1840, sur le service du chauffage et de l'éclairage a fixé la ration journalière de chauffage des chambres selon les régions diverses du territoire ainsi qu'il suit :

	Bois.	Charbon de terre.
Région chaude.	20 kil.	12 kil.
Région tempérée.	25 —	15 —
Région froide.	40 —	18 —

Mais elle ajoute que « les allocations peuvent se trouver insuffisantes pour chauffer toutes les localités d'une caserne. Aussi n'entend-on pas fournir aux troupes les moyens de rester enfermées dans des chambres continuellement bien chauffées. Ce serait faire contracter aux soldats des habitudes tout à fait contraires à l'esprit et aux exigences du service militaire. Ces allocations sont donc seulement destinées à entretenir du feu dans quelques chambres où, dans les temps froids et pluvieux, les

hommes, surtout ceux qui rentrent de service ou de corvée, et les détachements de recrues casernés le jour de leur arrivée, puissent se chauffer et se sécher. »

Cette destination spéciale du chauffage des chambrées, en lui donnant un caractère hygiénique plus spécial, semble rendre encore plus nécessaire le renouvellement abondant de l'air de ces locaux, où doivent se réunir momentanément un nombre plus considérable qu'à l'ordinaire d'hommes mouillés, dont les vêtements en se séchant produiraient des vapeurs insalubres et incommodes. Sous ce rapport l'emploi de la cheminée anglaise nous paraîtrait de beaucoup préférable à celui des poêles en fonte qui, momentanément chauffés au rouge, ont tous les inconvénients que l'on connaît et donnent à l'atmosphère des chambres de caserne cette odeur nauséabonde que l'on n'oublie pas, quand on les a fréquentées.

Observation sur l'installation de l'appareil. — L'installation qui nous a donné les résultats que nous venons de rapporter présente une imperfection pour les cas où le chauffage ne doit avoir lieu que pendant certaines heures de la journée et où il importe moins que la ventilation soit renouvelée la nuit.

Les tuyaux qui composent le conduit de fumée sont en terre cuite à section rectangulaire de $0^{m}.22$ sur $0^{m}.25$, avec angles arrondis, n'offrant qu'une surface libre de 0^{mq} 055; ce qui est une proportion convenable, comme nous l'avons indiqué, attendu que le volume d'air évacué par un feu modéré étant de $513^{mc}.74$ en 1 heure, ou de $0^{mc}.143$ en 1″, cela correspond à une vitesse de $2^{m}.69$ en 1″, bien suffisante pour un bon tirage. On pourait cependant sans inconvénient les faire un peu plus grands dans la partie inférieure; ce qui augmenterait leur surface de refroidissement, et tendrait à accroître la température de l'air introduit qui s'échauffe au contact de leur surface extérieure.

Mais ce n'est pas là la modification la plus importante à y apporter pour le chauffage de jour. Dans ce cas, au lieu de tuyaux en terre cuite, il convient d'employer des tuyaux en tôle ou en fonte qui, plus conducteurs de la chaleur, en utiliseraient une plus grande partie au profit du renouvellement et de l'échauffement de l'air.

De plus, il importe que ces tuyaux soient dans tous les cas isolés des murs, afin que l'air introduit dans la chambre à air, puisse circuler tout autour et leur enlever le plus de chaleur possible. — Si ces dispositions étaient prises, il est très-probable que le volume d'air introduit serait à très-peu près égal à celui qui est évacué, et que par conséquent l'appel fait par les portes et par les fenêtres serait presque complétement annulé.

Ainsi se trouverait résolu, par cet appareil simple, le problème du chauffage avec ventilation des appartements sans courant d'air et avec une économie notable de combustible, par rapport aux cheminées actuelles.

De la prise d'air; précautions à prendre. — Relativement à l'emplacement de la prise d'air extérieur, il faut faire remarquer que l'influence des vents peut parfois en contrarier l'action, et qu'il importe de prendre des précautions pour s'y opposer. Nous en avons eu des exemples dans les expériences dont il vient d'être parlé et nous avons vu parfois des bourrasques réduire, pendant quelques instants, le volume d'air introduit, par heure, de 400^{mc} à 260.

Il n'est pas difficile d'imaginer diverses dispositions qui assurent par tous les vents l'introduction de l'air dans la chambre d'échauffement. Mais quand on pourra le puiser dans des cours ou dans des caves bien saines, cela sera préférable tant au point de vue de la régularité de sa marche qu'à celui de la température.

Consommation de combustible. — La consommation de combustible a été en moyenne de 1 kil. 30, par heure, et la grille ayant $0^{mq}.0206$ de surface totale, et $0^{mq}.0058$ de surface libre de passage pour l'air, l'on voit que dans une cheminée de ce genre et avec un tirage modéré, comme celui de nos expériences, on peut brûler $\frac{1^k,30}{0.0206} = 63^k.1$ de houille par mètre carré de surface de grille, et $\frac{1^k,30}{0,0058} = 224^k.1$ de houille par mètre quarré de surface libre.

Le premier chiffre est identiquement le même que nous avons

trouvé en 1862 pour la cheminée du cabinet de la direction du Conservatoire. Le second est bien supérieur à celui qui correspondait dans ces expériences à la surface libre de grille et comme dans la cheminée anglaise, la grille est beaucoup plus étroite que le foyer, cela prouve que l'on peut, sans inconvénient, dans les cheminées, restreindre de beaucoup la section de passage de l'air à travers les grilles sans gêner la combustion, ce qui en diminue la consommation.

On remarquera que dans les expériences faites en mars 1862[1], sur la cheminée du cabinet de la direction du Conservatoire, par une température extérieure de 15 à 18 degrés, l'on a consommé, par heure, $3^k,25$ de houille pour entretenir dans cette pièce, qui a également deux fenêtres, deux portes et une capacité de 132^{mc}, une température de 20 à 21 degrés. Les circonstances de cette expérience et de celles dont nous nous occupons ici étaient donc à peu près identiques et la consommation de la cheminée anglaise n'a été que les 0, 40 de celle de la cheminée ordinaire. Il est vrai que celle-ci détermine l'évacuation d'un volume d'air total plus que double de l'autre, mais sans utilité réelle pour l'assainissement du local, puisqu'elle était beaucoup plus que suffisante.

Le résultat précédent ne doit pas, jusqu'à confirmation plus complète, être pris comme une mesure exacte de l'économie réalisée par la disposition que nous étudions, mais il montre qu'elle est certainement considérable.

Application du système étudié à toutes les cheminées. — Les expériences, dont nous venons de discuter les résultats, en montrant l'utilité des dispositions adoptées pour la construction des cheminées de casernes anglaises peuvent nous conduire à indiquer quelques dispositions générales qui amélioreraient beaucoup les résultats obtenus par l'emploi des cheminées ordinaires.

Une multitude de dispositifs ont été proposés depuis longtemps pour utiliser la chaleur accumulée dans les foyers de diverses formes, afin de déterminer l'introduction d'un certain volume d'air extérieur plus ou moins échauffé dans les appartements.

1. *Études sur la ventilation*, t. I, pages 306 et 309.

Mais tous les appareils que nous connaissons ont, sans aucune exception, présenté l'inconvénient de n'offrir au passage de l'air que des sections insuffisantes ; d'où il est toujours résulté que le volume d'air nouveau introduit était complétement insuffisant et que la température était excessive.

Les dispositions adoptées pour les cheminées de casernes, en Angleterre, reposent sur un principe général qui peut fort bien être appliqué avec d'autres formes, pourvu que l'on conserve des proportions convenables.

L'idée fondamentale est d'isoler le foyer des murs auxquels il est adossé, de ménager entre ce foyer et les murs un espace libre dans lequel on peut faire affluer de l'air extérieur qui, en s'échauffant au contact de la partie postérieure du foyer et des tuyaux de fumée, s'élève et vient se déverser au plafond pour remplacer en tout ou en partie l'air intérieur dont la cheminée détermine l'évacuation.

Mais pour que la solution soit satisfaisante et l'évacuation comme la rentrée de l'air régulières, il faut que le foyer, tout en pouvant fournir la chaleur nécessaire, ne soit pas susceptible de se refroidir trop rapidement ou de s'échauffer trop brusquement par l'effet des variations d'intensité du feu. Il convient donc d'en garnir les parois en fonte, de briques ou de matériaux réfractaires susceptibles de conserver longtemps la chaleur acquise.

La cheminée d'évacuation doit avoir les proportions déterminées par les règles que nous avons données plus haut. Lors donc que, d'après le nombre de personnes que les locaux à chauffer doivent contenir, on aura déterminé le volume d'air à évacuer par heure, on calculera l'aire de section de la cheminée et de l'orifice d'introduction de l'air froid dans la chambre à air et celle de débouché de l'air chaud dans la pièce, d'après la condition que la vitesse dans le tuyau de fumée, et à l'entrée dans la chambre à air soit de $2^{m}.50$ à $3^{m}.00$, et que celle de l'air débouchant au plafond soit au plus de 1 mètre en 1''.

Le conduit de fumée devra être totalement isolé des murs dans toute la hauteur de la chambre à air, il sera construit en tuyaux de terre cuite pour les locaux qui devront être chauffés et ventilés avec continuité, et en fonte pour ceux qui ne doivent l'être que pendant le jour.

La chambre à air sera prolongée jusqu'au plafond.

Les cheminées ainsi construites pourront être, avec de très-légères modifications, utilisées l'hiver pour le chauffage et la ventilation, l'été pour la ventilation seulement.

Il suffirait pour cela, par exemple, pendant l'été, d'en fermer ou d'en masquer la partie antérieure par un mantelet peu conducteur de la chaleur et d'y faire affluer l'air intérieur latéralement par des orifices munis de registres que l'on ouvrirait à cet effet. De la sorte, l'été, toute la chaleur développée par le combustible brûlé serait employée à déterminer à droite et à gauche de la cheminée l'appel de l'air vicié.

L'orifice d'accès de l'air dans la chambre à air pour la saison d'hiver serait fermé et d'autres ouvertures ménagées dans les murs, près du plafond, serviraient à alimenter la pièce d'air nouveau. Ce procédé simple de ventilation pourrait être appliqué dans beaucoup de cas, et en particulier aux salles d'hôpital renfermant très-peu de lits, dans les pays où la houille étant à bon marché, l'on tiendrait à conserver les avantages et les agréments du chauffage par les cheminées.

Il serait facile d'indiquer plusieurs autres dispositions basées sur les mêmes considérations et qui, avec des proportions convenables, produiraient des effets analogues. Nous en ferons connaître une que nous avons fait étudier, lorsque nous l'aurons soumise à l'expérience. Nous dirons seulement qu'elle consiste à enlever une partie du foyer et à la remplacer par un petit poêle à coke, qui ne serait chargé de combustible qu'une fois en 8 ou 10 heures, et dont la chaleur produirait l'évacuation de l'air vicié, sans échauffer les salles.

SUR LES

ALLIAGES D'ARGENT ET DE ZINC,

PAR M. EUGÈNE PELIGOT.

La rareté toujours croissante des monnaies d'argent, par suite de la plus-value que ce métal a acquise depuis la découverte des mines d'or de la Californie et de l'Australie, a rendu nécessaire le remaniement partiel de notre système monétaire. On sait qu'il est question de fabriquer, au titre de 835 millièmes des monnaies d'argent divisionnaires[1]. La différence de 65 millièmes, qui représente euviron 7 pour 100 du poids du métal précieux, aurait pour résultat de compenser l'écart qui existe en partie ou qui pourrait exister entre la valeur nominale et la valeur intrinsèque de ces monnaies.

Les études qui ont été faites sur les propriétés du nouvel alliage monétaire, formé de 835 parties d'argent et de 165 parties de cuivre, ont établi que sa fabrication ne présente aucune difficulté. Sa malléabilité est à peu près la même que celle de l'alliage actuel. Si sa couleur est un peu plus jaunâtre, la différence ne peut être constatée que par des moyens de comparaison très-délicats. Il présente, à la vérité, le phénomène de la liquation d'une façon plus marquée encore que l'alliage à 900 millièmes, mais avec une tolérance de titre un peu plus large, qui ne serait encore que de 3 millièmes au-dessus et au-dessous du titre légal, au lieu de 2 millièmes actuellement en vigueur pour les monnaies à 900 millièmes; les refontes, occasionnées presque toujours, pour les monnaies d'argent, par les effets de la liquation, seront comme aujourd'hui fort peu fréquentes.

1. Ce travail a été lu à l'Académie des Sciences le 11 avril 1864. Des pièces de 50 centimes au titre de 835 sont actuellement dans la circulaire.

Néanmoins, en étendant les études que j'ai dû faire, comme chef du laboratoire des essais de la Monnaie, sur l'alliage projeté, je me suis demandé si l'introduction d'un troisième métal, le zinc, dans les divers alliages d'argent, ou même si la substitution du zinc au cuivre dans ces alliages n'aurait pas pour résultat de les rendre plus homogènes, tout en leur conservant les qualités précieuses qui les font employer depuis si longtemps. C'est ce qui m'a conduit à exécuter les expériences qui font l'objet de cette Note. Je n'ai pas besoin de faire remarquer que ces expériences ont un caractère purement scientifique. Elles n'ont nullement pour objet d'entraver, même de la façon la plus indirecte, les mesures proposées par l'administration. En matière de monnaie, une innovation quelconque, si légère qu'elle soit, ne peut être proposée qu'autant qu'elle s'appuie sur des faits connus et qu'elle a reçu par avance la sanction publique. Aussi ai-je pensé que je devais présenter ce travail à l'Académie, afin que ses résultats, entrant ainsi dans la circulation, puissent être discutés et contrôlés au point de vue des applications qu'ils peuvent recevoir ultérieurement.

Bien que l'idée de faire entrer le zinc dans les alliages d'argent soit bien simple, aujourd'hui surtout qu'on sait combien ce métal est propre à la préparation de produits similaires, je n'ai trouvé nulle part la trace de tentatives faites dans cette direction. L'habitude qu'on a de considérer comme immuable la nature des alliages d'argent et de cuivre, dont la composition est fixée et circonscrite par la loi, est peut-être la cause de cette particularité; les indications sommaires qu'on trouve dans les auteurs sur ce sujet ne sont pas d'ailleurs de nature à provoquer des études entreprises dans cette voie. Ainsi Berzélius, dans son *Traité de chimie*, mentionne l'argent et le zinc comme formant une masse métallique cassante et à grain fin; d'après le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, « l'argent et le zinc se combinent facilement. Composés cassants, blancs bleuâtres; texture grenue à grain fin; sans emploi. »

J'ai étudié :

1° Les alliages d'argent, aux titres légaux, dans lesquels le zinc remplace tout le cuivre;

2° Les alliages d'argent, aux mêmes titres légaux, dans lesquels une partie du cuivre est remplacée par le zinc;

3° Quelques alliages atomiques formés par ce dernier métal et l'argent.

Chacune de ces matières a été fondue dans les mêmes conditions, coulée dans la même lingotière, transformée en lame de même dimension. Enfin les prises d'essais ont été faites symétriquement aux mêmes endroits de la lame.

La préparation de ces alliages est facile. Après avoir fondu l'argent ou l'alliage de cuivre et d'argent, on retire le creuset du feu et on y introduit le zinc enveloppé dans un morceau de papier. On brasse avec une tige de fer la matière restée liquide, et on la coule dans une lingotière préalablement chauffée.

Une petite quantité de zinc se volatilise et brûle à l'air au moment où la combinaison s'effectue. Aussi convient-il de forcer un peu le poids de ce métal, ainsi qu'on le fait pour tous les alliages dont il est un des éléments constituants. L'expérience apprend bien vite à connaître dans quelle proportion ce poids doit être augmenté.

L'alliage est coulé dans une lingotière verticale en fer, en deux parties, dont les rebords sont joints par un anneau avec vis de pression. La plaque métallique qu'on obtient ainsi se trouve fabriquée dans les mêmes conditions que les lames monétaires, bien que ses dimensions soient moindres. Elle a 13 centimètres de longueur sur 14 centimètres de largeur. Son épaisseur est de 5 millimètres. Avec le bourrelet supérieur formant masselotte, elle pèse environ 1 kilogramme.

Les alliages d'argent au titre légal, dans lesquels la totalité ou une partie de cuivre se trouve remplacée par le zinc, sont doués d'une remarquable malléabilité. En effet, chacune des plaques dont je viens de parler a été coupée en deux parties égales dans le sens de sa longueur; l'une des nouvelles plaques a été ensuite laminée et transformée, sans subir de recuit, en une lame de 58 centimètres de longueur et de 1 millimètre d'épaisseur, en conservant sa largeur primitive, soit 7 centimètres; aucune d'elles n'a été déchirée ni même gercée par le laminage.

Les prises d'essais, sous forme de rondelles du diamètre et du poids des pièces de 1 franc, ont été faites aux mêmes points, savoir :

Tête de la lame. . . . . { n° 1. . . . . bord.
{ n° 2. . . . . centre.

Milieu de la lame. . . . { n° 3. . . . . bord. / n° 4. . . . . centre.

Pied de la lame . . . . { n° 5. . . . . bord. / n° 6. . . . . centre.

Les centres n°s 2, 4 et 6 ont été prélevés sur le même plan horizontal que les bords : ils proviennent par conséquent du milieu de la plaque primitive, avant qu'elle eût été coupée et qu'une des parties eût été laminée. Comme dans les alliages d'argent, les parties symétriques présentent le même titre : il était superflu de déterminer la composition de la partie restante.

Les essais ont été faits par le procédé de la voie humide, dont l'emploi n'offre pour ces alliages aucune difficulté.

Le tableau qui suit fait connaître la composition de ces alliages :

ALLIAGES D'ARGENT ET DE ZINC correspondant			ALLIAGES TERNAIRES correspondant		
au 1er titre : orfèvrerie, médailles, etc.	à l'alliage monétaire.	au 2e titre : bijoux, etc.	au titre monétaire.	au 2e titre.	avec l'alliage à 900m.
Argent. 950 Zinc... 50 1000	Argent. 900 Zinc... 100 1000	Argent. 800 Zinc... 200 1000	Argent. 900 Cuivre. 50 Zinc... 50 1000	Argent. 800 Cuivre. 100 Zinc... 100 1000	Argent. 835 Cuivre. 93 Zinc... 72 1000
TITRES TROUVÉS EN MILLIÈMES.			TITRES TROUVÉS EN MILLIÈMES.		
N° 1.. 951,4	N° 1.. 904,9	N° 1.. 800,8	N° 1 . 901,9	N° 1.. 805,8	N° 1.. 837,7
2.. 952,4	2.. 903,6	2 . 800,8	2.. 902,6	2.. 804,8	2.. 837,2
3.. 952,0	3.. 904,7	3,. 800,3	3.. 902 8	3.. 805,8	3.. 837,2
4.. 951,8	4.. 904,7	4.. 801,6	4.. 903,0	4.. 804,8	4.. 837,7
5.. 951,7	5.. 903,8	5.. 801,0	5.. 901,0	5.. 804,8	5.. 837 5
6.. 951,9	6.. 905,0	6.. 800,8	6.. 902,1	6.. 802,3	6.. 837,7

On voit par l'inspection de ce tableau, dans lequel les numéros d'ordre indiquent les titres des parties de chaque lame spécifiées ci-dessus, que ces alliages présentent une homogénéité

remarquable qui permettrait de les utiliser dans les mêmes conditions que les alliages de cuivre et d'argent. Les écarts de titres pour les différentes parties de la même lame, sont insignifiants; ils dépassent rarement un millième.

Les titres pris dans leur ensemble sont généralement un peu plus élevés que ceux que je cherchais à produire. C'est la conséquence du manque d'habitude pour doser avec exactitude l'excès de zinc qu'il convient d'ajouter en raison de la perte due à la volatilité de ce métal. Cet écart vient aussi de ce que plusieurs de ces alliages ont été fabriqués, non pas avec des métaux neufs, mais avec les mêmes matières refondues et additionnées de zinc ou d'argent. Il eût été bien facile assurément d'arriver à une composition plus rigoureuse; mais cette précision était inutile à chercher pour le but que je me proposais d'atteindre.

Ces divers alliages ont une belle couleur blanche. Comparée à celle des alliages de cuivre contenant la même quantité d'argent, il m'a semblé que l'alliage ternaire à 835 millièmes est au moins aussi blanc que l'alliage monétaire à 900 millièmes. Il a, par conséquent, plus de blancheur que celui qui est proposé pour faire les nouvelles monnaies.

L'alliage ternaire au deuxième titre est également plus beau que l'alliage actuel à 800 millièmes. Pour les alliages binaires d'argent et de zinc, leur teinte est peut-être un peu plus jaunâtre que celle de l'argent pur. Il faut, dans ce dernier cas, beaucoup d'habitude et d'attention pour apprécier ces différences.

La fusibilité de ces nouveaux alliages est notablement plus grande que celle des alliages d'argent et de cuivre. Ils sont très-sonores, très-élastiques. Quand l'action trop prolongée du laminoir les a rendus cassants, le recuit leur restitue immédiatement une grande malléabilité.

L'étude des alliages atomiques ne m'a pas conduit à des résultats bien dignes d'attention. Avec équivalents égaux d'argent et de zinc, soit 765 d'argent et 235 de zinc, et avec 2 équivalents d'argent pour 1 de zinc, on a des produits assez malléables, tandis que les composés $Ag + 2\,Zn$ et $2\,Ag + 3\,Zn$ sont trop cassants pour être laminés.

Un intérêt d'actualité m'a conduit à préparer et à étudier l'alliage composé de :

Argent.	835
Cuivre.	93
Zinc.	72
	1000

Il suffit, pour l'obtenir, d'ajouter 78 grammes de zinc environ par kilogramme de monnaie actuelle.

Si la manière la plus économique de fabriquer de nouvelles monnaies consiste à utiliser les anciennes, en les refondant, soit pour en modifier le titre ou le poids, soit pour remplacer celles dont la vétusté a fait disparaître les empreintes, l'emploi de cet alliage présenterait plusieurs avantages : il procurerait à l'État une économie sensible, le prix du zinc n'étant guère que le cinquième de celui du cuivre qu'il remplacerait, et cela sans diminuer d'une façon appréciable la valeur d'une monnaie d'appoint destinée à être répartie entre un très-grand nombre de mains; de plus, il introduirait dans la circulation des pièces aussi belles, aussi blanches que celles qu'il est question de remplacer; la conservation de ces pièces serait aussi bonne probablement, et leur homogénéité comme titre ne laisserait rien à désirer. Ce ne sont là, d'ailleurs, que des prévisions; des expériences plus nombreuses permettraient seules de décider ultérieurement si elles sont fondées.

Je puis être un peu moins réservé à l'égard de la conservation des autres alliages binaires et ternaires, comparée à celle des produits de même titre employés pour fabriquer l'orfévrerie ou la bijouterie. Les alliages contenant du zinc noircissent beaucoup moins sous l'influence de l'acide sulfhydrique et des composés sulfurés que l'air contient accidentellement. Le cuivre, en effet, paraît avoir une influence considérable sur l'altération des alliages ordinaires, altération due essentiellement à la production des sulfures de cuivre et d'argent. Aussi les objets au deuxième titre, tels que les bijoux d'argent, noircissent plus vite que les pièces d'orfévrerie au premier titre. L'affinité du soufre pour le zinc étant très-faible et le sulfure formé par ce métal étant, en outre, incolore, l'alliage formé de 800 d'argent et 200 de zinc conserve sa blancheur et son éclat dans des dissolutions de polysulfure dans lesquelles noircissent rapidement les alliages légaux d'argent et de cuivre, et même l'argent à l'état de pureté

C'est, au point de vue des applications industrielles, une propriété des plus importantes. On sait, en effet, combien la fabrication des objets en argent se trouve entravée par cette altération, qui enlève si vite à ce métal deux de ses plus précieuses qualités : l'éclat et la blancheur. Une lame d'argent et de zinc subit même de la part de l'air, sous le rapport de la sulfuration, une altération d'autant moindre que son titre est plus bas.

L'absence du vert-de-gris formé par le contact des liqueurs acides peut offrir aussi un certain intérêt. L'alliage à 800 et 200 de cuivre, mouillé de vinaigre, donne bientôt, comme on sait, une dissolution d'acétate de cuivre. Avec l'alliage zincifère correspondant, on a, il est vrai, un liquide qui n'est pas exempt de zinc; mais on s'accorde généralement à considérer les sels de ce dernier métal, quand ils sont en faible quantité, comme étant moins vénéneux que les composés cuivriques.

Je dois faire observer, en terminant ce travail, que l'introduction du zinc dans les monnaies ne serait pas un fait aussi nouveau qu'il peut paraître au premier abord. Nos monnaies de cuivre contiennent 1 pour 100 de zinc, et cette faible quantité a suffi pour leur donner des qualités que n'ont ni les monnaies de cuivre rouge ni celles qui ne contiennent que du cuivre et de l'étain. Enfin, les petites monnaies Suisses, qui ont été fabriquées à Paris, il y a quelques années, renferment du zinc associé au cuivre, au nickel et à l'argent.

COMPTE RENDU DE LA SOIRÉE SCIENTIFIQUE

du 29 octobre 1864

AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

Par M. H. TRESCA.

M. le général Morin, directeur du Conservatoire, dans l'intérêt de l'association pour l'avancement des sciences physiques, avait promis à cette association d'ouvrir quelques-unes des galeries du Conservatoire aux membres qui la composent, et de leur offrir le spectacle de nombreuses machines en mouvement. Il ne nous appartient pas de dire comment cette soirée a répondu à son programme, mais il nous a semblé qu'au point de vue technique et scientifique, le Conservatoire avait réuni, dans la soirée du 29 octobre, tant et de si beaux instruments de travail et d'observation, libéralement apportés par les constructeurs le plus en renom, que nous manquerions à notre devoir envers eux, si nous ne cherchions pas à les remercier de leur obligeance en donnant une idée sommaire des richesses ainsi accumulées. De pareilles réunions, où l'homme du monde se trouve momentanément dans le même milieu d'activité que le savant et l'industriel, sont d'ailleurs trop intéressantes, pour qu'il n'en reste aucune trace écrite, et si les considérations auxquelles nous serons entraînés dans ce compte rendu sont nécessairement très-mal ordonnées, le lecteur voudra bien nous excuser de n'avoir pas su trouver un lien convenable entre des sujets aussi disparates.

Après avoir traversé la grande cour, les invités étaient introduits par le perron dans le magnifique escalier de l'architecte Antoine, décoré tout récemment par M. Vaudoyer. Le vestibule, connu sous le nom de Salle d'Écho, parce que sa voûte, *non elliptique*, permet de causer à voix basse d'un angle à l'autre,

était illuminé, comme l'escalier, par les soins de M. Serrin. On y faisait fonctionner le télégraphe Caselli, qui transmet non plus seulement le sens d'une dépêche, mais un *fac-simile* d'écriture ou de dessin.

A gauche, une partie de la salle des poids et mesures avait été transformée en un atelier où vingt-cinq ouvrières, en uniforme, faisaient fonctionner autant de machines à coudre, exécutant divers travaux d'équipements militaires, de lingerie, et de diverses industries spéciales sur lesquelles nous reviendrons en détail.

A droite, le public circulait dans la galerie des outils où se trouvent les tours de Louis XVI et de Pierre le Grand, et dans celles de la filature et du tissage, où l'on peut admirer les machines originales de Vaucanson et de Jacquard, ces princes du travail, dont les œuvres sont conservées comme de véritables monuments.

Dans la salle des machines en mouvement, éclairée par des régulateurs électriques, mécaniquement pourvues de courants convenables, on voyait fonctionner, avec des machines à vapeur et des moteurs hydrauliques, plusieurs machines à air chaud, le moteur Lenoir et un assez grand nombre de machines-outils.

M. Froment avait apporté son électro-trieuse qui sépare par heure 10,000 kilogrammes de minerai de fer magnétique de sa gangue; M. Pihet perçait du granit avec la machine Leschot, à couronne de diamant; M. Perrin, et plus souvent madame Perrin elle-même, exécutait avec sa scie à découper de véritables arabesques dans le bois; M. Dusautoy, tout à côté, se servait d'une machine analogue pour découper... des montagnes de pantalons.

Au fond de la salle, l'abside était entr'ouverte, et les spectateurs, qui fuyaient le mouvement, pouvaient admirer un arc-en-ciel continu, qui, formé artificiellement par la réfraction d'une lampe électrique de M. Duboscq sur une nappe de gouttelettes d'eau incessamment renouvelées, s'est maintenu pendant toute la soirée avec un éclat variable, mais généralement satisfaisant.

Tout à côté, dans le grand amphithéâtre, le public se pressait à tel point, qu'il a fallu prier M. Lissajous de recommencer, par deux fois, ses belles expériences sur l'acoustique,

M. Rhumkorf et M. de Saint-Edme leurs expériences et leurs explications sur la reproduction de l'aurore boréale, à l'aide d'un nouvel appareil, de M. de La Rive; et sur les phénomènes de phosphorescence de notre collègue, M. Becquerel. Ces phénomènes étaient rendus plus visibles encore par l'emploi momentané de la lampe au magnésium de M. Salomon, et ils étaient complétés dans la salle voisine par le fonctionnement de l'ingénieux appareil que M. Becquerel a nommé phosphoroscope.

Dans le passage conduisant à la bibliothèque, on pouvait visiter le phare de M. Sautter, qui guide les navigateurs, et les appareils de sauvetage de M Galibert, qui, pour être d'un aspect moins séduisant, n'en sont pas pour cela moins utiles.

Dans le petit amphithéâtre, loin du grand mouvement, une artiste habile, madame Casimir de Paul, qui contribue en ce moment à la réhabilitation du clavecin, avait consenti à exécuter quelques-uns de ces bons vieux airs que l'on ne saurait oublier, sur un instrument historique à peine restauré par les soins de M. Henri.

Tout cela était animé; mais le vrai salon de la fête, c'était la bibliothèque, cette émule de la Sainte-Chapelle, qui, splendidement éclairée au gaz par les soins de M. Vaudoré, avait reçu sur chacune de ses tables les intruments de précision les plus variés et les plus curieux. Jamais on n'avait réuni, sous ce rapport, d'aussi grandes richesses, qui se trouvaient encore rehaussées d'une part par l'appareil original de Lavoisier, récemment donné au Conservatoire par l'Académie des sciences; d'autre part, ainsi qu'on en pourra juger tout à l'heure, par les œuvres historiques les plus importantes de l'horlogerie.

Ce magnifique réfectoire des Bénédictins, devenu bibliothèque, était pour ce soir-là transformé, avec ses dorures et ses vitraux, en un splendide palais du travail scientifique, dans ce qu'il a de plus élevé et de plus nouveau.

Le lendemain, le public habituel du Conservatoire profitait de la soirée de l'association pour l'avancement des sciences. Il a pu voir tout cet ensemble, et les constructeurs, avec une égale complaisance, lui ont donné toutes les explications qui l'intéressaient. Ces mêmes explications, nous allons nous efforcer de les résumer pour tous ceux qui n'ont assisté à aucune des deux fêtes.

MACHINES EN MOUVEMENT.

La salle des machines en mouvement, destinée aux grandes expériences de mécanique, avait été peu modifiée pour la circonstance; mais éclairée par deux régulateurs électriques qui projetaient leur lumière sur le plafond, elle présentait un aspect inaccoutumé. Les ombres des machines et des courroies qui se croisaient, le bruit de l'eau, élevée par diverses machines élévatoires, qui retombait de tous côtés dans le bassin inférieur, ajoutaient encore à cet effet général, dont nous n'avons pas à nous occuper ici, puisque nous devons nous borner à indiquer les machines nouvelles qui avaient été apportées pour la circonstance.

Comme machines motrices, nous devons d'abord citer un petit modèle de la machine à air chaud d'Ericcson, fonctionnant à côté d'un modèle, également de petite dimension, de la machine Laubereau, modèle construit par M. Clair.

Ces deux appareils, fonctionnant avec du coke, représentaient les deux types principaux des machines fondées sur la dilatation, par la chaleur, de l'air comprimé dans un espace clos. Dans l'une, celle d'Ericcson, l'air est incessamment renouvelé, emportant avec lui la plus grande partie de la chaleur qui lui a été communiquée; dans l'autre, c'est le même air, qui, alternativement échauffé et refroidi, donne lieu à des modifications de pression qui sont utilisées pour développer le travail moteur sur un piston.

Réduites à ces dimensions qui leur permettent de fournir autant de travail qu'un ou deux hommes en développeraient en tournant une manivelle, ces petites machines pourraient être utilisées dans un grand nombre d'ateliers, où elles n'occuperaient pas une grande place, et où, sans chaudière, et sans qu'une pression considérable soit nécessaire, on obtiendrait à volonté les quelques kilogrammètres dont on aurait besoin.

Ce n'est pas que la consommation du combustible soit, comme on l'a souvent prétendu, beaucoup moindre à égalité de service rendu que par l'emploi de la vapeur; mais, quand elle serait même plus grande, ces petites machines à air auraient encore

leur raison d'être si la régularité de leur fonctionnement était parfaitement assurée.

La machine Lenoir est un autre exemple de cette application des moteurs de petites dimensions à la production d'une quantité de travail, plus grande, mais encore limitée à un ou à deux chevaux.

Lorsque nous avons établi, par nos premières expériences, qu'elle coûtait pour le même travail cinq fois autant qu'une machine à vapeur, on avait peine à comprendre qu'elle pût devenir industrielle. Ce chiffre est encore à peu près exact aujourd'hui, et déjà le moteur Lenoir est employé dans un grand nombre d'industries : cela tient à ce qu'il y est généralement mis en parallèle, non pas avec la vapeur, mais avec le travail fourni par les hommes eux-mêmes, et qu'à ce point de vue, il réalise une énorme économie. Il offre d'ailleurs cet avantage, à un degré plus marqué que les machines à air chaud, de ne consommer de combustible, c'est-à-dire de gaz, qu'au moment même et pendant le temps seulement où il doit être utilisé. C'est pour mettre cette propriété en relief que nous l'avions attelé à un outil essentiellement intermittent, celui qui servait, à la soirée du 29 octobre, à percer des trous dans un bloc de granit.

Comme accessoires de machines motrices, nous ne devons pas oublier l'injecteur Giffart, qui, aussitôt son apparition, a été si largement employé à l'alimentation des chaudières des locomotives et des machines fixes; mais cet appareil est aujourd'hui trop connu pour que nous ayons à le décrire. Il n'en est pas de même de l'*aide-chauffeur* de MM. Potez et Thibaut, qui fonctionne depuis quelque temps au Conservatoire, et qui, adapté à une pompe ordinaire, arrête ou rétablit son fonctionnement aussitôt que le niveau de l'eau dans la chaudière l'exige. Ce petit appareil, auquel nous consacrerons un procès-verbal séparé, fonctionne très-bien avec de l'eau d'alimentation préalablement chauffée jusqu'à près de 100 degrés.

Du côté des machines hydrauliques, toutes mises en mouvement, on avait disposé sous une chute de $1^{m},80$ un petit modèle de bélier Bollée, élevant seulement un centilitre d'eau par seconde. Il a fonctionné toute la soirée dans une cuve de verre en donnant un effet utile de 54 pour 100, encore bien qu'il ne fût pas établi dans les conditions les plus satisfaisantes.

La presse hydraulique de MM. Ollivier et Desgoffe présentait un caractère encore plus frappant de nouveauté. Cette presse horizontale, disposée pour nos essais de résistance de matériaux, fonctionne au moyen d'une corde ou d'un fil métallique qui s'introduit, par un orifice convenable, dans le corps de presse lorsqu'on fait tourner sur lui-même l'axe de la bobine sur laquelle l'enroulement doit se faire. L'introduction de ce corps étranger dans l'eau de la presse la force à exercer dans tous les sens une pression énergique que l'on utilise au moyen d'un piston. L'action est plus continue qu'avec les dispositions ordinaires, la manœuvre est plus facile et l'action est tout aussi énergique.

Nous reviendrons ultérieurement sur les machines magnéto-électriques de M. Berlioz et sur les résultats de ce mode d'éclairage, mais nous nous arrêterons un instant devant les opérateurs qui avaient été apportés pour la circonstances par les constructeurs.

L'électro-trieuse de M. Froment se compose de cinquante-quatre électro-aimants, entretenus par une pile de 10 éléments, et qui, aimantés et désaimantés pendant leur rotation autour d'un axe, se chargent et se déchargent du minerai de fer qu'on leur présente, en l'extrayant de la gangue pulvérisée ou de toute autre matière étrangère.

Cette application est d'autant plus curieuse que, réalisée dans plusieurs exploitations métallurgiques, elle suffit, avec une seule machine, au triage d'un poids énorme de minerai, en choisissant avec le tact le plus parfait, tout ce qui est industriellement utilisable. Une machine des mêmes dimensions prépare au moins de 10,000 kilogrammes d'oxyde de fer magnétique en une heure.

Les *Annales du Conservatoire* ont déjà parlé de la petite machine de M. Lievin-Deregnaux, qui, par l'emploi d'aimants permanents, sépare, d'après le même principe, la limaille de fer de la limaille de cuivre dans plusieurs ateliers de construction.

La machine Leschot a été modifiée depuis l'article que nous lui avons consacré, plutôt au point de vue de la manière de s'en servir qu'au point de vue de la construction. M. Pihet a reconnu, dans des expériences récentes, que l'on pouvait, sans inconvénient, faire tourner la fraise de diamant à 120 tours par minute, à la condition de diminuer la pression exercée sur le fond du trou. Dans les essais du Conservatoire, elle a marché à 100 tours,

et elle a pu, dans le courant de la soirée, percer quatre trous de $0^m,30$ de profondeur, bien que la matière fût extrêmement dure.

La scie Perrin n'est à première vue rien autre chose que la scie à lame sans fin, telle qu'elle était employée depuis longtemps pour des petits travaux de découpage; mais lorsqu'on l'examine de plus près, on ne tarde pas à s'apercevoir que la précision de son travail actuel dépend uniquement d'une petite pièce additionnelle, qui est l'invention principale de M. Perrin. Ce guide en bois a cependant décidé de l'avenir de cette machine qui est devenue tout à fait indispensable, et qui est aujourd'hui l'outil principal de tout atelier d'ébénisterie. Lorsque les contours sont bien arrêtés par un bon dessin, la lame ainsi guidée coupe le bois d'une manière continue, et l'ouvrier n'a rien autre chose à faire qu'à déplacer la pièce de manière à suivre avec exactitude le tracé. La lame ayant toujours la direction convenable, les faces de sciage ont toutes la même inclinaison que l'on peut modifier à volonté en faisant tourner, quand cela est nécessaire, la table autour de son axe, si l'on veut faire des coupes biaises. On a calculé que, dans du bois de chêne de 8 centimètres d'épaisseur, un seul ouvrier pouvait former, en un jour, un trait de scie d'une longueur totale de 700 mètres. Ce chiffre donne la mesure du service rendu aux ouvriers du faubourg Saint-Antoine, lorsqu'on sait que madame Perrin met tous les lundis et tous les jeudis, pendant deux heures, une machine à leur disposition, pour leur éviter le travail pénible et bien autrement lent du sciage à la main.

M. Perrin suit avec beaucoup de soin la construction des scies qu'il emploie, et il est aujourd'hui parvenu à obtenir des lames de sept centimètres de large qui débitent des bois en grumes parfaitement en ligne droite, dans la même disposition générale de montage que les lames étroites à chantourner. D'après les expériences faites, on peut ainsi refendre 12 mètres de madriers de sapin par heure, et comme le madrier a une largeur de 0.22, il en résulte qu'une scie semblable produit par heure une surface de sciage de $12 \times 0.22 = 2.64$ mètres carrés, ou plus de 25 en une seule journée de travail.

Nous avons regretté de ne pouvoir faire fonctionner à côté de la scie Perrin, une *toupie* à moulures, ce merveilleux engin qui rabotte, suivant un contour quelconque et suivant tous les profils

voulus, la plupart des bois employés aujourd'hui dans le travail de l'ébénisterie parisienne. Cette toupie fonctionne si vite qu'on l'entend, mais qu'on ne le voit pas, et nous avons été plusieurs fois témoin des dangers qu'elle présente lorsqu'on la fait fonctionner devant un public toujours disposé à toucher ce qui l'intéresse.

A côté de la scie Perrin fonctionnait la scie de M. Dusautoy; si M. Perrin n'a inventé qu'un organe essentiel, M. Dusautoy n'a pas même à revendiquer la moindre addition à la machine. Et cependant qui oserait dénier à M. Dusautoy l'invention d'une idée parfaitement originale et intéressante, au même titre que tous les agencements de détail qu'il a fallu combiner ensemble pour la réaliser?

M. Perrin scie quelquefois du même coup plusieurs épaisseurs de bois qui doivent avoir la même forme, M. Dusautoy scie d'un seul trait 15 pantalons de drap ou 50 doublures, en économisant, par un procédé très-simple, 49 tracés à la fois, et en combinant la coupe de manière à utiliser presque jusqu'au moindre déchet.

Ce n'est pas sans quelque difficulté qu'il est parvenu à assujettir ensemble toutes ces épaisseurs d'étoffes souples, de manière à leur donner le corps nécessaire pour se prêter aux manœuvres qu'exige la scie.

Une couture aurait été trop dispendieuse et les visiteurs du Conservatoire ont pu examiner le moyen simple qui est employé pour éviter cette dépense. La réunion est faite au moyen de grosses épingles, à tête plate, en acier, qui traversent de part en part et qui sont assujetties du côté de la pointe par leur insertion dans des bouchons ordinaires en liége. L'élasticité de cette substance permet de maintenir dans le paquet, par l'emploi d'un grand nombre de liens semblables, une pression suffisante pour que le travail s'effectue sans erreur possible, lorsqu'on présente ce paquet à l'action d'une scie sans dent, convenablement affutée. Le découpage se fait ainsi dans des conditions de rapidité inconnues jusqu'alors. On nous permettra de ne citer des chiffres qu'en parlant des machines à coudre au moyen desquelles on confectionne les objets ainsi découpés.

ATELIER DES MACHINES A COUDRE.

Les premières tentatives faites pour remplacer, dans le travail de la couture, la main par une machine, remontent au commencement de ce siècle (1804). Elles se bornèrent à l'emploi de l'aiguille ordinaire et à l'imitation servile de la main pour la faire mouvoir. Des pinces poussaient et tiraient l'aiguille pour opérer une espèce de surjet, c'est-à-dire le point le plus difficile à exécuter et qui, malgré les progrès réalisés depuis lors, n'est pas encore devenu complétement pratique; la complication des moyens, leur peu d'efficacité et la lenteur des résultats firent abandonner cette première tentative. Elle fut néanmoins reprise, sans plus de succès, en 1844, aux États-Unis, et en France quelques années après.

Les premières applications ne furent réellement sérieuses qu'à partir du moment où l'on songea à modifier l'organe couseur, l'aiguille. Deux tentatives eurent lieu simultanément dans ce sens, il y a une trentaine d'années (en 1830), l'une est due au célèbre Josué Heilmann, qui imagina une aiguille d'une forme particulière, avec un œil au milieu de la longueur; cette modification eut un grand succès, et l'aiguille ainsi disposée est encore employée, en Suisse et en Angleterre, dans les machines à broder, dont Heilmann est l'inventeur. L'aiguille, sous forme de crochet, utilisée également aujourd'hui pour faire un autre genre de broderie, la plus économique, appliquée aux blouses, sarraux et autres vêtements des campagnes, a servi de point de départ à une grande industrie dont le centre principal est à Angoulême. M. Vignon, de cette ville, applique, sur une grande échelle ce système imaginé en 1830 par M. Thimonier de Lyon.

A la même époque, M. Singer, l'un des plus heureux promoteurs de l'emploi des machines à coudre en Amérique, eut l'idée de faire la couture avec deux crochets, l'un vertical avec un œil près de la pointe, et l'autre horizontal pour former une boucle dans laquelle l'aiguille verticale vient entrelacer son fil; les deux fils ainsi enchevêtrés, se serrent pour former le point dans l'épaisseur de la pièce à coudre.

Bientôt, en 1834, on imagina en Amérique le système dit *à navette;* celle-ci, munie d'une bobine chargée de fil, remplace le

crochet horizontal du système précédent, et exécute le point de piqûre dit *point arrière*, plus solide que *la chainette*, ou point de chainette obtenu par la machine à crochet.

Il n'a pas fallu moins d'une dizaine d'années pour rendre pratique la machine à navette, la plus répandue actuellement. Un certain nombre de constructeurs firent progresser ce genre de construction à partir de 1846; au premier rang figurent MM. Élias Howe, Seymour, Thomas, Singer, Grover et Baker. Ces derniers imaginèrent aussi le système caractérisé par un crochet horizontal courbe, substitué au crochet droit de l'une des machines précitées et à la navette de l'autre. Le point résultant de cette machine offre une apparence particulière dite *à double chainette*, et son alimentation, au lieu d'être limitée à la longueur du fil contenu dans la navette est proportionnelle à la quantité de fil fournie par une bobine d'un volume quelconque.

Ces quelques indications ont seulement pour but de caractériser les divers organes fondamentaux, mis en action par les machines à coudre, quelles qu'elles soient. Boucler, d'une manière plus ou moins complexe, deux fils dans une étoffe simple ou double, les serrer au moment voulu pour former l'intersection déterminant le point, renouveler ces entrelacements, soit d'une manière continue et régulière, dans le cas le plus simple, soit d'une façon rétrograde ou alternative en faisant revenir l'aiguille et les fils sur eux-mêmes, pour confectionner un point plus solide, dit *indéfilable :* telles sont les fonctions essentielles et fondamentales de toutes espèces de machines à coudre.

Elles peuvent toutes se classer en trois grandes catégories : en machines à crochets, proprement dites, dont l'application la plus remarquable et la plus étendue est celle de la machine dite *couso-brodeuse*, qui confectionne la broderie à bon marché des vêtements pour les gens de la campagne dont nous avons parlé précédemment;

Les machines à aiguilles principalement employées et plus spécialement propres aux coutures d'étoffes délicates pour la lingerie, telles que chemises fines, cols, manchettes, etc., etc.;

Enfin, les machines à navettes, les plus répandues de toutes, dont la force et la destination peuvent varier en raison de la résistance; elles sont surtout recherchées pour le travail des pièces et des articles les plus épais et les plus forts.

Quant aux diverses fonctions telles que le bordage des chapeaux, des corsets, la fixation des passe-poils, le galonnage en général, la confection des brides de sabots, etc.; elles peuvent être réalisées par l'un quelconque des systèmes employés. Il suffit à cet effet de modifier la forme de l'organe directeur chargé de maintenir la pièce à coudre et de la faire avancer sous l'action des organes couseurs. Le *pied de biche*, à patte cannelée et à mouvement alternatif pour faire cheminer le tissu ou tout autre objet à coudre, est alors modifié et reçoit une espèce de moule à coulisse qui réunit, sous la forme voulue, les deux articles que la couture doit fixer; le ruban ou le galon, par exemple, destinés à border un chapeau ou tout autre article mentionné, se trouvent réunis dans cette coulisse ou guide, en épousent la forme à leur passage pour se présenter ainsi à l'action de la couture, dans les vraies positions relatives où elles doivent être fixées.

L'application des ornements soutachés se pratique de la même manière; seulement si les dessins doivent présenter certaines figures, angulaires ou curvilignes, tracées à l'avance sur le tissu, l'ouvrière a le soin de diriger la pièce de façon que tous les points de l'angle ou de la courbe, par exemple, reçoivent l'action de l'aiguille. C'est encore de cette façon que la couture en zigzag est effectuée pour l'opération du rabattage dans les tissus élastiques, tels que la flanelle, par exemple.

Quant à l'étendue plus ou moins grande des points, rien de plus facile que de l'obtenir, en modifiant l'organe de transmission qui imprime l'action au pied de biche. Le nombre de ses mouvements, par rapport à ceux de l'aiguille détermine la longueur des points. Des pièces de rechange font partie de la machine, afin de régler ainsi et à volonté les points de la couture.

Le nombre des applications des machines à coudre est incalculable : chaque jour en voit de nouvelles. Malgré le développement de cette industrie, elle est loin d'être chez nous ce qu'elle est à l'étranger et notamment en Angleterre, en Allemagne et surtout aux États-Unis. Et cependant, dans cette contrée même où elle rend de si grands services à cause de la rareté relative de la main-d'œuvre, elle est loin d'avoir atteint la limite. Il reste toute une série de travaux à l'aiguille, encore presque exclusivement produits à la main, mais les efforts des inventeurs

cherchent également à la *supplanter*. Nous voulons parler de la confection des articles où doit intervenir le point de surjet, appliqué aux boutonnières, à certains ourlets, à la couture des gants, etc. On a approché plus ou moins de la solution de ce problème, techniquement parlant; mais quoique les premières tentatives, dans cette direction, aient déjà eu cette solution pour but, l'on ne peut pas dire que le problème soit réalisé sous le rapport économique. L'ingénieuse machine de ce système, qui fonctionnait au Conservatoire, a néanmoins pu démontrer que la solution est bien près de devenir pratique et que ces tentatives sont dignes d'être sérieusement encouragées. Les machines à surjet, une fois à l'état complétement industriel, auront des applications non moins nombreuses que leurs aînées.

L'exposé qui précède était nécessaire pour faire comprendre l'agencement des organes de ces ingénieuses machines et l'histoire de leurs améliorations successives. Il était d'autant plus important de donner à cet égard quelques détails, que ces détails sont peu connus et qu'on les trouverait difficilement ailleurs que dans les leçons que fait sur ce sujet notre collégue, M. Alcan, au Conservatoire des arts et métiers.

Notre atelier des machines à coudre avait d'ailleurs été organisé, plutôt au point de vue de la variété de la production qu'à celui de la construction des machines elles-mêmes. Nous y avons convié toutefois plusieurs constructeurs. MM. Callebaut et Journeaux Leblond sont les seuls qui nous aient envoyé des machines, et nous devons particulièrement remercier M. Callebaut des bons soins qu'il a donnés, avec M. Dusautoy, à l'organisation en quelque sorte improvisée de cet atelier.

Voici maintenant quelques indications et quelques chiffres sur les résultats déjà réalisés par l'application de la machine à coudre, qui date à peine d'une *dizaine* d'années.

Depuis cette époque les machines à coudre ont complétement transformé l'industrie de la couture : avec le travail à la main chaque pièce était complétement exécutée par la même ouvrière, aujourd'hui, avec la machine à coudre, la division du travail s'est forcément introduite dans cette industrie.

Les ouvrières s'y divisent en deux catégories :

Ouvrières-mécaniciennes : ce sont celles qui exécutent les travaux de couture;

Ouvrières-apprêteuses : ce sont celles qui préparent les pièces que les premières doivent exécuter.

On estime le nombre des machines à coudre fabriquées en

France à	28 000	34 000 machines
celles provenant de l'étranger à . .	6 000	

représentant une valeur de 15 300 000 francs.

La maison Callebaut a contribué pour beaucoup au développement de ce chiffre d'affaires et y a participé dans la proportion d'un quart.

Une machine occupe en moyenne une ouvrière mécanicienne et quatre ouvrières apprêteuses,

Soit annuellement

34 000	ouvrières mécaniciennes à 4f par jour, soit	40 800 000 fr.
136 000	ouvrières apprêteuses à 2f 50 d° soit	102 000 000 fr.
170 000		142 800 000 fr.

Ces mêmes 170 000 ouvrières, avec le travail à la main, gagnaient en moyenne 1 fr. par jour soit par an.	41 000 000 fr.
Bénéfice annuel au profit des ouvrières coopérant au fonctionnement des machines à coudre .	101 800 000 fr.

La machine à coudre appliquée aux seuls besoins de la famille doit y produire un bénéfice annuel qu'on estime quelquefois à 500 fr. par famille et qui ne saurait être évalué au-dessous de 200 fr.

Une machine produit en moyenne 10 fois autant que le travail à la main ; les nombreuses spécialités industrielles qui l'emploient ont pu augmenter leur production dans cette proportion.

Telle est la force de l'habitude que, malgré l'augmentation du prix de la journée, il est constaté que les ouvrières mécaniciennes et apprêteuses manquent constamment.

La fabrication des machines à coudre occupe environ 600 ouvriers mécaniciens gagnant de 4 à 9 fr.

Elle a d'ailleurs groupé autour d'elle une infinité de spécialités se rattachant à la fourniture des accessoires pour le fonctionnement des machines, tels que coton et soie sur bobines, aiguilles, huile et pièces détachées.

Ces indications suffisent pour faire comprendre que loin d'être

nuisibles aux populations ouvrières, les machines à coudre leur créent chaque jour de nouvelles sources de bénéfices, et la lenteur relative avec laquelle la transformation se produit peut être considérée comme un moyen providentiel de transition qui, sans nuire d'une manière notable aux intérêts actuels, prépare cependant, pour l'avenir, une transformation dont les chiffres suivants pourront déjà donner un aperçu qui ne manque pas d'intérêt.

Ces chiffres nous ont été fournis par M. Dusautoy, qui n'a reculé devant aucun dérangement pour mettre à la disposition de notre projet ses machines, ses ouvrières, et toutes les ressources de son atelier.

M. Dusautoy s'occupe principalement de confections militaires; il pourrait habiller, en cas d'urgence, un régiment par jour avec les moyens dont il dispose : ses conclusions que nous reproduisons dans la forme même sous laquelle il les a présentées sont les suivantes :

L'économie de temps réalisée sur toutes les parties de la confection qui peuvent être exécutées à la machine, n'a pas seulement pour résultat de diminuer le prix total de la façon. Les avantages qui découlent de cette économie sont beaucoup plus importants.

Ils ont permis, sans que le prix des façons fût augmenté, de porter le salaire de l'ouvrier à un taux plus élevé, de faire pénétrer le bien-être dans l'une des classes les plus nombreuses de la population ouvrière; et, tout en augmentant la richesse nationale par une production illimitée, satisfaisant aux besoins les plus divers, les plus imprévus et les plus importants, d'assurer constamment du travail à des milliers d'ouvriers et d'ouvrières, qui, sous l'empire du travail à la main, étaient souvent en chômage.

Voici maintenant les évaluations comparées des prix de revient des diverses parties de la confection réalisée par les nouveaux procédés de couture; nous y avons joint les indications analogues en ce qui concerne la coupe des vêtements.

Il est bon de faire observer qu'une partie seulement de chacun des effets d'habillement peut être confectionnée à l'aide de la machine à coudre; c'est donc sur cette partie seulement que la comparaison de détail portera, dans les tableaux qui vont suivre.

Tableau comparatif du temps employé aux diverses opérations de couture.

TEMPS employé à la confection entière des effets exclusivement à la main.	DESCRIPTION des parties de la confection sur lesquelles la comparaison porte.	COMPARAISON entre le temps employé pour les		ÉCONOMIE de temps réalisée par la machine à coudre.	
		COUTURES à la main qui correspondent aux coutures faites à la machine.	COUTURES à la machine qui correspondent aux coutures faites à la main.	sur les parties correspondant à celles cousues à l'aide de la machine à coudre.	sur la totalité de l'effet d'habillement
minutes.	CAPOTE d'infanterie.	minutes.	minutes.		
735	1° Cousage des doublures......	53	10	88 0/0	35 0/0
	2° Coutures-piqûres du collet, des parements, pattes de poche, martingales et pattes de ceinture....	196	15		
	3° Piqûre des passepoils et montage du collet.	45	9		
	Totaux........	294	34		

TEMPS employé à la confection entière des effets à l'aide exclusif des coutures à la main.	DESCRIPTION des parties de la confection sur lesquelles la comparaison porte.	COMPARAISON entre le temps employé pour les		ÉCONOMIE de temps réalisée par la machine à coudre.	
		COUTURES à la main qui correspondent aux coutures faites à la machine.	COUTURES à la machine qui correspondent à celles faites à la main.	sur les parties correspondant à celles cousues à l'aide de la machine à coudre.	sur la totalité de l'effet d'habillement.
minutes.	PANTALON d'infanterie.	minutes.	minutes.		
475	1° Coutures et piqûres des jarretières. . . .	165	15	89 0/0	53 0/0
	2° Montage des ceintures, piqûres de ces ceintures, des poches, pattes, brayette et sous-pont.	120	15		
	Totaux.	285	30		
	VESTE de zouave.				
1432	1° Cousage des doublures.	20	5	75 0/0	45 0/0
	2° Montage du dos avec petits côtés (gancés)	40	8		
	3° Cousage des galons du dos.	60	14		
	4° Cousage des galons de manches.	60	28		
	5° Chamarrure des manches.	140	30		
	6° Cousage de la parementure des manches	10	3		
	7° Piquage de la parementure.	15	4		
	8° Cousage de la tresse des tombeaux. . . .	35	8		
	9° Chamarrure des tombeaux.	160	26		
	10° Montage des petits côtés avec le devant gancés.	30	6		
	11° Montage des épaulettes.	10	4		
	12° Cousage de la gance du tour.	110	15		
	13° Cousage de la tresse du tour.	60	22		
	Totaux.	860	218		

Il résulte donc de ces indications qu'encore bien que l'économie de temps s'élève quelquefois jusqu'à 90 pour 100 pour certaines parties de la confection, le résultat final ne constitue cependant qu'une économie moyenne de 50 pour 100, qui est déjà fort importante.

Tableau comparatif du temps employé aux diverses opérations du découpage.

DÉSIGNATION des EFFETS.	COUPE DES DOUBLURES. NOMBRE DE DOUBLURES coupées à la main par 1 ouvrier		NOMBRE DE DOUBLURES coupées à la machine par 1 ouvrier		DIFFÉRENCE par 100 en faveur de la machine.
	par heure.	par journée de 10 heures.	par heure.	par journée de 10 heures.	
Capotes d'infanterie..	15	150	500	5000	1550
Vestes de zouaves....	26	250	750	7500	1400
Gilets de zouaves....	16.6	166	600	6000	1700
Pantalons de zouaves..	16.6	166	600	6000	1700

DÉSIGNATION des EFFETS.	COUPE DU DRAP. NOMBRE D'EFFETS coupés à la main par 1 ouvrier		NOMBRE D'EFFETS coupés à la machine par 1 ouvrier		DIFFÉRENCE par 100 en faveur de la machine.
	par heure.	par journée de 10 heures.	par heure.	par journée de 10 heures.	
Capotes d'infanterie..	2 1/2	25	48	480	220
Pantalons d'infanterie.	3 1/2	35	60	600	180
Vestes de zouaves....	2 1/2	20	60	600	400
Gilets de zouaves....	2 1/2	20	60	600	400
Pantalons de cavalerie.	2 1/2	25	60	600	300

Ici les différences sont beaucoup plus considérables et l'on ne saurait trop féliciter M. Dusautoy d'avoir introduit de pareils éléments de progrès dans des opérations, qui, à première vue, en paraissent peu susceptibles.

Les applications de la machine à coudre sont de plus en plus variées. M. Klein, qui faisait fonctionner une des siennes à côté des machines de M. Dusautoy, doit à cette application d'avoir pu enlever à l'Allemagne le monopole que lui avait assuré le bas prix de sa main-d'œuvre, pour les articles de voyage et les objets analogues. Aujourd'hui, M. Klein emploie constamment 30 machines à coudre et 150 ouvrières à confectionner ainsi pour 800 000 francs de produits dont la France aurait été complétement privée sans cette application. Vienne la fin de la crise américaine et ces produits prendront une importance réelle dans notre commerce d'exportation.

Aucune spécialité n'est sans importance quand elle est basée sur l'emploi des machines à coudre. Tout à côté de M. Klein, M. Pellentz Leroy cousait des brides de sabots, plus ou moins ornées, avec lesquelles il a su se créer des débouchés déjà considérables.

A côté des machines à coudre, fonctionnait la machine à rehausser le tulle de M. Raux. Quoique d'une forme toute différente de celle des machines précédentes elle a cependant quelque analogie de principe. En effet, rehausser le tulle, c'est appliquer sur une bande unie de cette étoffe, et à l'un des bords de cette bande une autre bande de tulle, festonnée ou façonnée d'une manière quelconque de manière qu'ainsi *rehaussées* les deux bandes n'en formant plus qu'une, servant à son tour à orner un bonnet ou tout autre vêtement de femmes.

Le travail de la machine consiste, par conséquent, à réunir les deux bandes et à les fixer aux points voulus par une espèce de faufilage. Ce qui frappe tout d'abord dans cette machine, c'est son étendue, nécessaire pour opérer la tension des deux bandes, se rendant chacune de sa poulie respective, sous le mécanisme qui les réunit, pour être conduite de là à une troisième poulie destinée à recevoir l'article fini. Entrer dans l'explication écrite du petit appareil qui entrelace les deux bandes serait vraiment faire tort à sa simplicité, qui est tout à fait remarquable.

On pourra du reste juger de la variété que comporte l'emploi

des machines à coudre par la désignation des autres machines qui étaient exposées par M. Journaux-Leblond (système Gance Derocquigny.)

1° Machine exécutant le point de surjet, pour cuirs à chapeaux, gants, tricots, blondes, faisant une couture en zigzag à l'effet d'assembler deux objets l'un à côté de l'autre; couture sur toutes sortes de matières sans changer la tension du fil.

2° Machine à broder, exécutant le point de feston, le point arrière et la couture ordinaire à navette; propre à soutacher par la combinaison de trois, quatre ou cinq fils enlacés, formant des dessins.

3° Machine exécutant le point de boutonnière et œuillet, couture ordinaire à l'usage des tailleurs.

Le même besoin de produire les objets d'usage général, en grandes quantités, est une des conditions de la société et de l'industrie moderne. Il s'est traduit, dans d'autres directions, par des efforts analogues à ceux qui ont donné naissance à la machine à coudre, et c'est pour accuser cette tendance que nous avions réuni, à côté des précédentes, une des machines à visser la chaussure de M. Lemercier.

M. Dumery avait organisé mécaniquement une véritable fabrique de chaussures, mais les premiers essais remontent à peine à 1839, et il fallait placer à la main des vis préparées d'avance, dans une fabrication toute spéciale; c'est seulement depuis 1856 qu'un nouvel inventeur M. Pellier, se sert d'une machine motrice pour préparer la vis au moment même où elle va être introduite pour réunir les parties qu'elle traverse et qu'elle doit coudre ensemble.

M. Lemercier a doté cette machine de divers perfectionnements, et particulièrement du chariot universel, brisé, au moyen duquel la production d'une seule machine a été portée de 36 à 70 paires de chaussures en une journée.

En même temps le prix de chaque machine s'est abaissé dans une proportion considérable, et nous pourrons citer l'atelier de M. Godillot, qui en entretient en fonction plus de quarante.

Ayant ainsi réuni plusieurs des appareils qui servent aux objets de vêtements, nous nous sommes grandement félicité d'avoir obtenu de MM. Crespin et Poumaroux qu'ils voulussent bien faire fonctionner devant le public, à défaut de leurs in-

ventions plus capitales, leur nouvelle machine à tondre et à apprêter.

Égaliser le duvet formé à la surface de certaines étoffes, le faire disparaître complétement de certaines autres, telle est la fonction réservée à l'ingénieuse machine à tondre, imaginée sous François Ier par Léonard de Vinci, ainsi qu'il résulte de la récente communication de M. Alcan à la société d'encouragement, et qui n'est cependant appliquée industriellement que depuis un demi-siècle à peine. Un cylindre ou un cône garni d'une lame tranchante, disposée en hélice autour de la surface de révolution, constitue l'organe tondeur; sa rotation rapide, en contact de la surface à apprêter, produit l'égalisage ou l'enlevage des poils les plus saillants.

L'application de cette utile machine est bien plus en usage qu'on ne pourrait le supposer. Elle est employée aux apprêts de la toilerie, des calicots, des mérinos, des châles, des draps, des chapeaux, etc., etc. Quoiqu'on ne parle pas autant des services rendus par cette machine que de ceux du métier Jacquard, ils sont cependant peut-être aussi importants. Le métier de tondeur était le plus pénible de tous ceux des arts textiles; les ouvriers qui le pratiquaient étaient les plus malheureux et devenaient bientôt infirmes. La fabrication entière se trouvait retardée par la lenteur des résultats, et cependant l'apparition des premières tondeuses excita chez les tondeurs des orages. On était loin alors de supposer que leur emploi centuplerait bientôt la somme de travail offerte à l'intelligence de l'homme d'une seule profession.

A côté de la machine qui confectionnait le chapeau venait le fer destiné à l'apprêter. Ce fer très-ingénieux faisait partie de l'exposition de M. Dusautoy, chez qui il est en constant usage.

Les dames, qui s'intéressaient beaucoup à notre atelier de confection, auraient toutes voulu emporter ce fer à repasser qui est toujours chaud, et qui, tout prêt à travailler, se maintient invariablement à la température convenable. Il porte avec lui son foyer, consistant en un ou plusieurs becs de gaz, régularisés dans leur action par un courant d'air artificiellement produit par un ventilateur. Que de petites découvertes, produisant de grands résultats et mettant l'intelligence de l'ouvrier plus en lumière, en

le dispensant, de plus en plus, des difficultés matérielles et de l'abus de sa force auquel il était précédemment condamné!

ÉCLAIRAGE.

Dans un espace aussi grand que celui que M. le général Morin voulait mettre à la disposition de l'association scientifique, la difficulté d'installer en quelques jours l'éclairage était assez grande. On y a pourvu cependant en adoptant, pour chaque local, les moyens les plus appropriés.

Dans les vestibules et au dehors, où rien n'avait été disposé à l'avance, on a eu recours à l'éclairage électrique, et M. Serrin a bien voulu en prendre la responsabilité.

Dans les salles qui devaient seulement servir à la circulation, l'éclairage à la bougie ou à l'huile présentait, au moyen de quelques lustres improvisés, le mode d'installation le plus simple.

Dans la salle des machines en mouvement, il paraissait plus convenable de montrer comment, en dépensant du travail, on peut obtenir un éclairage analogue à celui qui est maintenant en usage au phare de la Hève, au Havre.

Les amphithéâtres sont nécessairement pourvus de leur mode ordinaire d'éclairage, muni des dispositions nécessaires pour produire une obscurité presque complète au moment des expériences pour lesquelles cette obscurité est nécessaire. Enfin, on s'est aussi servi de gaz pour la bibliothèque, dont il fallait faire valoir les produits par l'emploi d'une lumière tranquille, ne fatiguant pas les yeux comme la lumière électrique.

M. Vaudoré et Ce ont très-habilement établi toutes les canalisations nécessaires, et grâce au carburateur qu'ils ont employé, on a pu obtenir, avec un compteur très-insuffisant, une très-bonne lumière dans cette grande salle.

M. Serrin s'est acquitté de sa tâche avec l'ardeur qu'on lui connaît. Deux becs électriques lui avaient été demandés pour l'escalier, un pour la salle d'Écho.

Il a employé, sur chaque point, deux appareils, disposés de telle façon qu'au moyen d'un commutateur le courant pût passer de l'un à l'autre sans qu'il y eût d'interruption à craindre.

Il redoutait pour l'activité de ses piles la longueur de la soirée,

et il s'est bien trouvé d'un procédé qui nous avait parfaitement réussi dans de récentes expériences, et qui consistait dans une réserve de quelques éléments que l'on prépare en même temps que les autres, et que l'on introduit successivement dans le courant à mesure que la pile principale s'épuise.

D'un autre côté, nous redoutions, l'éclat si incommode ordinairement, de la lumière électrique. M. Serrin s'est mis à l'abri de cette difficulté en employant les verres en émail de M. Paris, grâce auxquels la lumière, toujours parfaitement égale, était suffisamment diffusée pour ne produire aucun effet désagréable.

M. Serrin a même fait beaucoup plus qu'on ne lui avait demandé; il a, de son autorité privée, établi un bec supplémentaire dans la campanile de l'horloge, et ce bec a, pendant toute la soirée, projeté une magnifique lumière sur le square du Conservatoire des Arts et métiers.

Personne n'a fait autant d'efforts que M. Serrin pour rendre pratique l'emploi de la lumière électrique. Son régulateur parfaitement automatique est le premier qui, par un mécanisme des plus ingénieux, ait été doué de la propriété de placer et de maintenir les charbons à la distance nécessaire pour éviter toute variation d'intensité.

Le public parisien est bien habitué aux appareils de M. Serrin, mais il nous saura peut-être gré de reproduire la preuve manifeste de l'utilité de ce mode d'éclairage dans certaines circonstances particulières.

Voici le rapport qui a été fait sur l'application de l'éclairage électrique aux travaux du Guadarrama en Espagne :

« La Compagnie des chemins de fer du Nord de l'Espagne, engagée dans les grands travaux du percement du Guadarrama et résolue à les pousser avec activité, a décidé que l'on travaillerait jour et nuit.

« Pour l'éclairage de ses nombreux chantiers, elle a pensé à l'emploi de la lumière électrique dont la puissance est sans contredit supérieure à celle de toute autre source de lumière en usage.

« Au commencement du mois d'avril 1862, elle a fait faire de sérieuses expériences avec les régulateurs de la lumière électrique du système Serrin, afin de déterminer la dépense qu'entraînerait son application. Les résultats ayant été satisfaisants, la

Compagnie s'est décidée à l'appliquer sur une grande échelle à l'éclairage de ses travaux.

« On a fait l'acquisition de vingt régulateurs système Serrin que l'on a expédiés dans les montagnes du Guadarrama, avec les piles et les matières nécessaires à leur alimentation.

« Un agent spécial à été chargé de se rendre sur les travaux pour installer et diriger l'éclairage pendant toute sa durée. »

« *Installation de l'éclairage dans les chantiers.* — Les appareils électriques, devant éclairer des tranchées en percement, à attaques étagées ayant 15 à 30 mètres de profondeur, ont été installés dans des pylônes en charpente destinés à porter le foyer lumineux à la hauteur de 4 à 5 mètres au-dessus du niveau supérieur des attaques. Cette surélévation est indispensable pour l'éclairage des attaques supérieures, lesquelles, étant plus avancées que les inférieures, ne pourraient pas recevoir la lumière émanant d'un point situé au-dessous de leur niveau. En profitant des accidents du terrain et choisissant les points les plus favorables, on n'a pas dépassé 5 mètres de hauteur pour les pylônes les plus élevés. On les a établis en avant des tranchées, afin de pouvoir projeter la lumière sur toutes leurs faces attaquées.

« Chaque pylône est muni de deux régulateurs qui fonctionnent successivement et permettent d'éviter les interruptions de lumière qui auraient lieu avec un seul appareil pendant le remplacement des charbons usés.

« Le régulateur est alimenté par une pile de Bunsen composée de 50 éléments, que l'on montait dans un abri construit à 2 ou 3 mètres du pylône.

« Les éléments avaient les dimensions suivantes :

Vases en grès,	$0^m,120$ de diamètre,	$0^m,150$ de hauteur.	
Vases poreux,	$0\ ,055$ d°	$0\ ,150$ d°	
Zincs,	$0\ ,088$ d°	$0\ ,088$ d°	
Charbons,	$0\ ,040 \times 0^m,020$ de section,	$0^m,080$ de hauteur.	

« *Durée de l'activité de la pile.* — Une pile de 50 éléments alimente un régulateur pendant six à sept heures consécutives, ou pendant toute la durée d'une nuit d'été. Pour les nuits d'hiver, on en dispose deux, que l'on fait fonctionner pendant cinq ou six heures chacune. Lorsque l'intensité de la deuxième pile de-

vient insuffisante, on réunit les deux sources en quantité au moyen d'un commutateur fort simple imaginé par M. Serrin, et on obtient une belle lumière encore pendant trois ou quatre heures.

« Ce dernier avantage ne peut trouver son application que dans les travaux souterrains, car les plus longues nuits de nos pays ne dépassent jamais quatorze heures et peuvent être éclairées au moyen de deux piles fonctionnant séparément pendant sept heures chacune.

« *Service des pylônes.* — Deux hommes font le service de chaque pylône : le surveillant monte les piles et dirige l'appareil pendant la nuit ; son aide entretient la propreté des éléments et approvisionne l'eau nécessaire à la manipulation.

« Le montage de la pile et le réglage des régulateurs est simple et facile; les hommes du pays, pris parmi les ouvriers du chantier, à la suite d'un apprentissage de quelques nuits, se mettent en état de faire un service régulier et satisfaisant.

« *Durée de l'éclairage.* — Les premières installations étaient mises en activité au mois de mars 1862; au mois de juillet, il y en avait huit, et leur lumière était régulièrement employée jusqu'au 15 octobre. A cette époque, la durée de l'éclairage s'élevait en total à 3,717 heures.

« Après trois mois d'interruption occasionnés par le froid rigoureux et les intempéries, on a repris, au mois de février 1863, les travaux de nuit et l'emploi de la lumière électrique, qui fonctionnait continuellement dans dix chantiers, jusqu'au 12 juin, époque de l'achèvement des travaux. La durée de l'éclairage dans cette période est de 5,700 heures.

« La durée totale pendant les deux campagnes est de : $3717 + 5700 = 9417$ heures

« *Effets de la lumière.* — La lumière a toujours été belle et régulière; elle éclaire les chantiers avec profusion sans blesser pourtant les travailleurs par son intensité.

« On a employé deux genres de réflecteurs :

« Hyperboliques et paraboliques.

« La surface éclairée au moyen des réflecteurs hyperboliques est d'environ 40 mètres de largeur, à la distance de 100 mètres à

partir du foyer lumineux. Jusqu'à 200 mètres, l'intensité est encore suffisante; mais cette distance doit être considérée comme limite; car, au delà, la lumière faiblit rapidement avec l'épuisement de la pile et devient bientôt insuffisante.

« Avec les réflecteurs paraboliques, la longueur de la surface éclairée est d'environ 30 mètres à 100 mètres de distance; 250 mètres doivent être considérés comme distance limite.

« La lumière diffuse étant très-abondante dans le voisinage des pylônes, toute la surface comprise entre le pylône et la limite des travaux se trouve éclairée.

« De ces considérations sur les réflecteurs il résulte que les hyperboliques doivent être préférés pour éclairage de grandes superficies, et les paraboliques pour projeter les lumières à de grandes distances.

« *Prix de revient.* — Le tableau ci-dessous résume la consommation des matières pendant toute la durée de l'éclairage et leur valeur.

DÉSIGNATION.	CONSOMMATION PENDANT 3417 heures.	CONSOMMATION PENDANT par heure.	DÉPENSE pour 9417 HEURES.
Acide nitrique..............	16 320^{k}	1^{k},785^{gr}	10 092^{f} 00^{c}
Acide sulfurique...........	16 225	1 ,702	3 731 75
Zinc....................	6 200	0 ,665	4 588 00
Mercure..................	805	0 ,085	5 725 55
Baguettes de charbon........	1 595^{m}	0^{m},160^{m}	3 190 00
	Total............		27 325^{f} 30^{c}

La dépense par heures en matières consommée, est

$$\frac{27\,325^{f}\cdot 30}{9\,417^{h.}} = 2^{f}\cdot 90.$$

« *Application de l'éclairage électrique aux travaux souterrains.*— L'éclairage électrique a rendu d'importants services aux travaux souterrains des grandes mines du Guadarrama.

« La première grande mine a été terminée le 10 juin 1862.

« La profondeur du puits était de 22 mètres; chaque galerie avait 16 mètres de longueur.

« Lorsqu'on a voulu bourrer la mine, après y avoir déposé la poudre, l'air était tellement vicié par l'explosion des pétards et la combustion des lampes des mineurs, que les maçons pouvaient à peine séjourner pendant quelques instants, et les lampes ne brûlaient plus dans l'intérieur des travaux; il fallait les allumer à l'orifice des puits et elles s'éteignaient avant d'arriver au fond.

« Cependant le travail était pressant. N'ayant sous la main aucun moyen de ventilation, on eut recours à la lumière électrique, qui peut fonctionner sans oxygène et même dans le vide.

« On a donc établi une batterie électrique au bord du puits, et on a fait descendre un régulateur, système Serrin, dans l'intérieur de la mine. Ce moyen permettait de continuer le travail de maçonnerie, sauf à remplacer les ouvriers aussi fréquemment qu'il faudrait.

« Au bout d'une heure environ, voyant que les maçons ne se plaignaient nullement d'être incommodés et ne demandaient pas à être relevés, je descendis dans la mine et je constatai que l'on y respirait avec autant de facilité qu'en plein air, et que les lampes y restaient allumées.

« Ce résultat semble devoir être attribué :

1° A ce que la lumière électrique ne produit aucune cause de corruption de l'air et permet de supprimer les lampes des mineurs.

2° A ce que le puissant foyer de l'appareil établit un mouvement d'air qui permet son renouvellement.

« Le travail des maçons éclairés par la lumière électrique s'est prolongé pendant 112 heures consécutives sans aucun inconvénient.

Ce rapport, signé de M. Boukatry, ingénieur de la Compagnie du Nord de l'Espagne, est daté du 23 avril 1864. En le reproduisant en son entier, nous avons pensé que nous donnerions une mesure plus exacte des services que peuvent rendre la lumière électrique et le régulateur de M. Serrin.

Une autre application faite à Cherbourg n'est pas moins intéressante; elle a permis à MM. Duttaud frères, entrepreneurs du fort Chavagnac, d'utiliser le temps des basses-mers de nuit pour

terminer, à l'époque prescrite, leur travail qui aurait été, sans cette ressource, fort en retard.

Pour l'éclairage du phare de la Hève, dont nous parlerons un peu plus loin, M. Serrin a fait construire des régulateurs plus puissants, dans lesquels, la communication s'opérant au moyen d'une plaque au lieu de fils, on amène facilement sur les contacts le régulateur de rechange sans perte de temps et par la manœuvre d'un simple gardien.

C'est aussi pour servir aux exigences de ce service important, que M. Serrin a imaginé des dispositions de détail à l'aide desquelles il centre la lumière avec exactitude par rapport à la position des réflecteurs.

Nous mentionnerons aussi, comme d'innovation récente, les divers commutateurs à l'aide desquels M. Serrin remplace, sans extinction, l'action d'une pile par un autre, ou qu'il associe en quantité, ainsi que nous l'avons déjà vu, celle de deux piles fatiguées pour prolonger, d'une manière utile, leur action.

Nous donnerons encore quelques détails sur les appareils en parlant des machines magnéto-électriques qui fonctionnaient dans la salle des machines en mouvement; l'une d'elles agissait sur un régulateur de M. Serrin.

Nous avons vu par ce qui précède que les inégalités de la pile peuvent, avec les meilleurs régulateurs, produire des variations d'éclat très-fâcheuses, surtout lorsqu'elles se combinent avec les irrégularités résultant de la qualité même des charbons, qui laissent toujours à désirer.

L'emploi de la machine magnéto-électrique offre sous ce rapport plus de sécurité, puisque, toutes choses restant les mêmes, il suffit d'entretenir une vitesse convenable et toujours égale pour que l'intensité du courant ne puisse varier. C'est cette condition qui a déterminé cet emploi pour l'éclairage de phares, et leur examen nous arrêtera quelques instants.

L'invention primitive de Clarke, relative à la production d'un courant au moyen d'un électro-aimant, mobile devant un aimant naturel ou artificiel, a été, pour la première fois, appliquée aux usages de l industrie de l'éclairage[1] par feu Nollet, professeur

(1) Dès 1840, M. Boquillon, bibliothécaire du Conservatoire, avait proposé l'emploi de la machine magnéto-électrique pour la production des dépôts galvano-

de physique à l'école militaire de Bruxelles, qui est mort au travail avant d'avoir pu faire prévaloir son système.

La première machine avait déjà été montée par M. Joseph Van Malderen, que nous retrouvons encore aujourd'hui comme le plus infatigable pionnier de la même question, et auquel on doit l'idée d'avoir substitué au courant redressé de la machine primitive, le courant alternatif qui est aujourd'hui en possession de la véritable solution. C'était une pensée hardie, que celle qui a permis d'examiner si les courants, alternativement contraires, suivant que chaque armature s'approche ou s'éloigne des aimants, pourraient, par suite de la rapidité avec laquelle les alternances se succèdent, produire, au point de vue de la lumière développée, le même effet qu'une action continue. L'expérience a pleinement justifié cette manœuvre et toutes les machines de la compagnie l'Alliance, aujourd'hui en possession de l'invention Nollet, sont à courant alternatif.

Mais depuis cette première apparition de la machine combien d'essais et combien de perfectionnements de détails ont été nécessaires !

L'interruption des bobines, suivant un plan diamétral, le percement de ces bobines suivant leur axe, la fabrication devenue plus courante des aimants, l'abaissement de leur prix de revient au tiers du prix primitif, la réduction de longueur des circuits, l'accouplement le plus favorable en quantité et en tension : ce sont là autant d'études qu'il a fallu faire, par expérience, pour arriver à obtenir aujourd'hui une lumière de 180 becs carcel à meilleur marché, et par la même machine qui donnait, d'une manière moins régulière, une lumière de 25 becs à peine.

Ces perfectionnements de détail ont été tels qu'aujourd'hui chaque groupe d'aimants, du poids de 21 kilogrammes, peut supporter au contact une charge de 60 à 70 kilogram.; d'ailleurs, le montage de ces aimants est grandement facilité par l'emploi

plastiques. On lit en effet dans son certificat d'addition, du 9 octobre de cette même année :

« Persuadé que l'action d'un courant électrique est la seule condition essentielle au résultat, j'ai voulu m'en convaincre par l'expérience, et j'ai eu recours, dans ce but, à une petite machine de Clarke, dont le mouvement, maintenu pendant un temps suffisant, a déterminé un dépôt absolument semblable au dépôt produit par l'action galvanique. »

d'une cale en fer doux, à l'aide de laquelle on rachète, facilement et presque sans frais d'ajustage, les gauchissements qui sont le résultat inévitable d'une trempe dure.

Après un long temps d'épreuve, les machines magnéto-électriques paraissent aujourd'hui prendre place dans l'industrie sérieuse.

Parmi les 19 machines à 4 ou 6 disques, déjà construites, plusieurs ont été employées à la galvanoplastie avec succès, mais dans des établissements qui n'ont pas continué ce genre de fabrication ; quelques autres sont restées inoccupées ; mais toujours est-il que les ardoisières d'Angers en emploient 6 pour leurs grandes chambres d'exploitation ; qu'un dock d'Angleterre se trouve très-bien d'un emploi analogue, et que l'administration des phares se sert de trois autres, l'une à l'administration centrale de Paris, les deux autres au phare de la Hève.

Nous ne pouvons moins faire que de citer, pour cette application importante, quelques parties du rapport officiel de M. le directeur général des phares au Ministre de l'agriculture, des travaux publics et du commerce :

« Il y a deux choses à considérer dans l'éclairage électrique : la production d'électricité et la production de lumière. La machine magnéto-électrique détermine le courant ; des charbons, dont la position est régularisée par un appareil spécial, produisent la lumière.

« La machine que nous avons se compose de 56 aimants, distribués dans sept plans verticaux équidistants, sur les arêtes d'un prisme droit à base octogonale. Les bobines passent entre les groupes d'aimants. Elles sont fixées sur des disques tournant autour de l'axe du prisme et mis en mouvement par une machine à vapeur. Un courant s'établit dans les fils des bobines lorsqu'elles approchent d'un pôle, et il se renverse quand elles s'en éloignent. Seize changements de direction correspondent à chaque révolution du cylindre. Le maximum d'intensité s'obtient lorsque la machine exécute de 350 à 400 tours par minute, et le sens du courant s'intervertit alors près de 100 fois par seconde.

« Les courants partiels de même nature se réunissent et sont alternativement mis en communication, tantôt avec le bâti en fonte de la machine, tantôt avec une pièce métallique fixée sur l'axe des disques de bobines, par l'intermédiaire d'une substance

isolante. L'un des fils conducteurs saisit successivement, sur cette pièce, l'un et l'autre des courants totaux ; le second les prend sur le bâti. Ces fils sont entourés d'une matière isolante sur tout leur parcours. La machine à vapeur est de la force de deux chevaux.

« Les courants sont conduits dans un régulateur ou lampe électrique qui porte les deux charbons, à la pointe desquels se produit la lumière. Cet appareil a pour objet de rapprocher convenablement les charbons, à mesure qu'ils se consument, sans leur permettre d'arriver au contact. Divers systèmes ont été imaginés à cet effet. Celui qui a été le plus expérimenté par nous, et qui paraît le meilleur jusqu'à présent, a été imaginé par M. Serrin d'après une base posée par M. Foucault. Voici quelle est sa composition :

« Deux porte-charbons sont fixés chacun à une tige verticale qui se meut dans une gaîne. Ces tiges sont reliées l'une à l'autre de manière que, lorsque celle du haut descend en vertu de son poids, l'autre se relève exactement de la même quantité. Ce mouvement est modéré et régularisé par un volant avec engrenages. La gaîne du porte-charbon inférieur est supportée par un parallélogramme articulé, sur l'un des côtés duquel est fixée une petite tige d'arrêt, qui, suivant qu'elle s'abaisse ou s'élève, embraye l'une des roues d'engrenage et arrête le mouvement, ou la laisse libre et permet aux charbons de se rapprocher. Ce parallélogramme est soumis à l'action de deux forces diamétralement opposées : l'une, produite par un ressort à boudin, tend à le soulever ; l'autre, due à un électro-aimant que traverse le courant, tend à l'abaisser en agissant sur une armature fixée à la partie supérieure du parallélogramme.

« L'appareil est réglé de telle sorte que quand les pointes des charbons sont à la distance voulue pour la production de la lumière, l'engrenage est embrayé, d'où résulte l'immobilité des porte-charbons. Cette distance augmente par suite de la combustion, le courant s'affaiblit, l'électro-aimant perd de sa puissance, le parallélogramme obéit au ressort, soulève la tige d'embrayage ; les porte-charbons se mettent en mouvement, se rapprochent et ne s'arrêtent qu'au moment où le courant a repris assez d'intensité pour déterminer un nouvel embrayage. Quelquefois, quand le mécanisme n'a pas été parfaitement réglé, le

mouvement n'est pas entravé à temps, les charbons arrivent au contact et la lumière s'éteint; mais alors et immédiatement le courant ayant acquis une grande intensité, oblige le porte-charbon inférieur à s'abaisser d'une quantité convenable, l'autre conservant sa position; et la lumière reparaît avec toute son intensité.

« Une disposition particulière permet de régler le mécanisme suivant la force du courant qu'il est appelé à régulariser.

« On voit que ce dernier appareil est extrêmement ingénieux, et j'ajouterai dès à présent que malgré la délicatesse de ses organes, il fonctionne avec une régularité très-remarquable[1].

« Les charbons sont carrés, de 6 à 8 millimètres de côté, et peuvent avoir jusqu'à $0^m,20$ de longueur chacun. Leur qualité exerce une grande influence sur leur durée, et même sur la quantité de lumière produite. Ceux que fournit le commerce proviennent des parties les plus denses des dépôts de carbone qui se forment dans les cornues où l'on distille la houille pour obtenir le gaz d'éclairage. Un habile chimiste, M. Jacquelain, en avait fabriqué il y a quelques années qui leur étaient de beaucoup supérieurs; ils s'usaient fort peu, et ils donnaient près de deux fois plus de lumière. Il n'a pu malheureusement les obtenir qu'en petits fragments, et il paraît avoir renoncé au projet qu'il avait formé d'exploiter son invention en la perfectionnant. Un pharmacien de Paris, M. Curmer, nous a également présenté des charbons plus avantageux que ceux du commerce, sous le double rapport de l'intensité et de la régularité de la lumière; mais ils ont l'inconvénient de brûler plus vite et de rougir parfois dans toute leur longueur.

« Il y a lieu d'espérer des améliorations sous ce rapport. En attendant, c'est sur les charbons actuels qu'il faut compter, et je n'appellerai votre attention que sur les résultats qu'ils ont donnés.

« L'intensité de la lumière obtenue avec l'appareil que je viens de décrire présente de grandes variations, lesquelles proviennent, non pas du courant électrique, qui est constant tant que la vi-

1. Il est à remarquer que cette délicatesse n'est pas une des conditions du système. Les appareils qui s'exécutent en ce moment doivent présenter beaucoup plus de résistance sans perdre de leur efficacité.

tesse est la même, ce qu'il est facile d'obtenir, mais du défaut d'homogénéité des charbons, de légères modifications dans leur écartement et surtout du déplacement de l'arc voltaïque, qui se porte tantôt d'un côté des pointes, tantôt de l'autre. Il est assez difficile de la mesurer au photomètre, parce que ces variations sont incessantes; cependant on y parvient quand on sait se contenter du degré de précision que réclame la pratique. Dans l'état actuel des choses, on peut attribuer à cette intensité une valeur moyenne de 180 à 190 becs de Carcel[1], un maximun de 280 becs et un minimum de 100 becs environ. On n'obtenait pas autant au début de nos expériences; nous n'avions pas trouvé plus de 140 becs d'intensité moyenne. Le progrès qui s'est réalisé doit être attribué en partie à l'augmentation de puissance que le travail a développée dans les aimants, et à une amélioration dans les charbons qui ont été choisis avec plus de soin. On voit qu'il en annonce d'autres.

« La consommation des charbons peut être évaluée à $0^{m},05$ par pôle et par heure, les déchets non compris.

« Je dois ajouter qu'il ne paraîtrait pas prudent de faire dépendre le service d'un phare d'une seule machine magnéto-électrique. Il faudra deux mécanismes de chaque espèce, si l'on ne veut être exposé à des extinctions dont les suites pourraient être très-graves, et il conviendra même d'avoir deux appareils optiques, afin de pouvoir remédier aux accidents qu'éprouverait une lampe, renouveler les charbons sans interrompre l'éclairage et doubler en cas de besoin l'intensité du feu. Un commutateur, placé à portée du gardien permettra de faire passer instantanément la lumière d'un appareil à l'autre.

« Ces points établis, je passe aux diverses questions que soulève l'application de la lumière électrique à l'éclairage des phares, lesquels sont relatives aux appareils optiques, aux dépenses, à l'intensité lumineuse, aux portées et aux chances d'accidents.

M. Reynauldt entre en suite dans des détails pleins d'intérêt sur la portée des différents genres d'éclairage, suivant l'intensité plus ou moins grande et il termine en concluant qu'en résumé, on ob-

1. On a adopté pour unité de lumière, dans le service des phares, la lumière émanée d'une lampe de Carcel ayant un bec de $0^{m},020$ de diamètre et consommant 40 grammes d'huile de colza par heure.

tient, avec la lumière électrique, des intensités de beaucoup supérieures à celles que produisent nos appareils les plus puissants, et que le prix de l'unité de lumière est notablement inférieur; les dépenses d'entretien annuel seront plus élevées de 29 0/0 dans les phares de premier ordre, mais elles auront pour effet de quintupler au moins l'intensité lumineuse; cette amélioration sera sans utilité réelle dans les circonstances ordinaires de l'atmosphère et dans les cas de brume très-épaisse, mais elle pourra être précieuse pour la navigation dans les états intermédiaires de la transparence atmosphérique; l'éclairage électrique n'offre pas, sous le rapport de la régularité du service, autant de garanties que le système actuel, mais les chances d'extinctions ne paraissent pas nombreuses et il y a lieu de compter sur des améliorations; enfin le mécanisme qu'il exige conduirait à donner plus de portée à nos signaux sonores, par les temps de brume.

Depuis bientôt dix mois l'installation proposée par M. Reynauldt a été installée au fort de la Hève, et ses résultats ont de tous points confirmé la supériorité des appareils électriques, pendant les temps de brouillards, c'est-à-dire pendant les temps les plus dangereux.

Nous nous permettrons d'ajouter cette observation que dans la machine à courants alternatifs, les charbons s'usent également, et que par conséquent le centre lumineux tend moins à se déplacer.

Un autre essai a été fait à Dunkerque; il promettait les plus beaux résultats. Il s'agissait d'illuminer la mer à une certaine profondeur et de se servir de cet appât d'une nouvelle espèce pour attraper tous les poissons qui viendraient se brûler à la chandelle. On avait compté sans leur défiance, car après une expérience de cinq heures, d'ailleurs très-bien réussie, et dans laquelle la lampe fonctionnait à une profondeur de 55 mètres, aucun d'eux ne s'était laissé prendre. On n'est pas découragé pour cela; on monte de nouveau un appareil et l'on compte bien que si les vieux habitants de la haute mer sont si prudents, les jeunes poissons des ports, qui se montrent très-affriandés de ce nouveau spectacle, mettront, à se laisser prendre, une bonne volonté bien plus grande.

Dans les expériences du Conservatoire, M. Berlioz et Ce, que nous ne saurions trop remercier du concours qu'ils nous ont

donné, employaient des régulateurs différents. Du côté de l'abside, la lumière était fournie par un régulateur de M. Serrin, du côté opposé, par le nouveau régulateur à barillet de M. Foucault. Ces deux lampes étaient placées à 6 mètres de hauteur au-dessus du sol.

M. Joseph, qui se sert avec une grande habileté de tous ces appareils, et qui avait en outre à sa disposition un régulateur de Graham, plus simple peut-être au point de vue du nombre des pièces qui le composent, est d'avis que le régulateur de M. Serrin, qui a fourni la première solution pratique du problème, ne le cède en rien à aucun autre, quant aux effets produits.

L'appareil de M. Foucault, habilement construit par M. Duboscq, comporte l'addition d'un mouvement d'horlogerie très-délicat; il offre d'ailleurs l'avantage de prendre plus facilement toutes les inclinaisons désirables, les charbons fussent-ils même placés horizontalement.

C'est avec une des lampes de sa construction que M. Duboscq a éclairé, d'une part, l'arc-en-ciel de l'abside pendant toute la soirée, et qu'il a d'autre part fait à l'amphithéâtre les projections des expériences de M. Lissajous.

Pour terminer ce qui est relatif aux expériences de lumière, nous avons encore un mot à dire sur la lumière au magnésium de M. Salomon.

Le magnésium a une très-puissante affinité pour l'oxygène et par conséquent sa combustion est accompagnée d'un très-grand dégagement de chaleur; en outre, l'oxyde formé a un pouvoir d'irradiation considérable; ces deux circonstances rendent compte de l'éclat de la lumière fournie par la combustion de ce métal. Cette lumière est comparable à celle du soleil au point de vue de sa richesse en rayons ultra-violets, c'est-à-dire en rayons propres à impressionner les diverses matières dont fait usage la photographie, et à faire apparaître la phosphorescence dans les corps qui en sont doués. On sait en effet, depuis les récents travaux de M. Edmond Becquerel, que plus la température d'un corps est élevée, plus la lumière qu'il émet est riche en rayons très-réfrangibles. On voit, d'après cela, que la lumière du magnésium est appelée à jouer un rôle important dans les démonstrations qui, dans les cours publics, sont faites jusqu'à présent avec la lumière électrique. La production de cette lumière est, il est vrai, d'un

prix de revient élevé, mais elle offre cet avantage, que la dépense est exactement proportionnelle à la durée de l'emploi effectif, qu'elle n'exige aucune préparation préalable et que l'instrument qui sert à la réaliser n'est pas plus volumineux qu'une lampe ordinaire.

L'appareil, qui a fonctionné dans la soirée scientifique a été importé en France par M. Salomon, opticien anglais, et perfectionné par M. Le Roux. Il est spécialement destiné à l'usage de la photographie. Deux ou trois fils de magnésium d'un diamètre de 2/3 à 3/4 de millimètre *chacun* sont enroulés ensemble; ils s'engagent dans un petit train de laminoirs dont les rouleaux sont garnis de caoutchouc, et que met en mouvement un mécanisme d'horlogerie; c'est ainsi que s'effectue l'avancement des fils à mesure que leur combustion s'opère; la vitesse de cet avancement est d'ailleurs déterminée par un régulateur à palettes variables, qui fait partie du mécanisme. En quittant le laminoir, le fil s'engage dans un conduit métallique qui le fait déboucher au foyer d'un réflecteur parabolique. Enfin tout l'appareil repose sur trois pieds, dont l'un fait manche et contient une détente qui permet de débrayer à volonté. Par cette disposition, on peut faire brûler le fil en dix secondes seulement, ou si l'on veut pendant plusieurs minutes, en même temps que l'on dirige le faisceau lumineux sur l'objet que l'on veut éclairer.

L'éclat de la lumière électrique ne doit pas nous rendre indifférent aux progrès des appareils à lumière ordinaire. Le phare à huile de M. Sautter était tout à fait digne d'intérêt.

L'innovation introduite par ce constructeur consiste dans l'établissement d'un pivot central, comme support général des parties tournantes; par ce moyen les galets, déchargés du poids de l'appareil, ne servent plus que de guides pour le maintenir avec précision dans la verticale. En cas d'altération des surfaces frottantes, un levier à bascule permet de lever tout le système, et de remplacer instantanément la tête du pivot et la coupe en bronze dur dans laquelle il repose. On remarque encore un embrayage, à frottement par approche de cônes de friction, qui établit, sans choc, la communication du mouvement entre le rouage et la plate-forme tournante.

La lampe, employée pour l'éclairage des phares à huile, est toujours celle imaginée par Augustin Fresnel, de concert avec

Arago, c'est-à-dire le bec à mèches multiples. Cet appareil a pour but de donner une grande intensité lumineuse sous un très-petit espace. Pour restreindre la hauteur de la flamme, et éviter la décomposition de l'huile par suite d'une température trop élevée, on dispose le réservoir d'huile de manière que l'écoulement du liquide sur la mèche soit plus considérable que la quantité consommée; cette disposition est facile à réaliser en déterminant, dans le réservoir, une pression suffisante, au moyen d'un tuyau vertical glissant à volonté dans une boîte à cuir. Afin de régler le tirage, on a surmonté la cheminée d'une partie cylindrique en tôle que l'on fait mouvoir au besoin; les mèches concentriques se manœuvrent isolément.

Quant au système optique, nous ne pouvons que signaler la grande perfection apportée par M. Sautter dans le travail et l'ajustement des verres lenticulaires et prismatiques.

Avant de quitter les appareils d'éclairage nous ajouterons, en terminant, que les effets obtenus par M. Delaporte, bien que sur une petite échelle, ont été trop bien réussis pour que nous les passions sous silence. Au moyen de deux ou plusieurs becs de gaz, cachés dans la base d'une petite fontaine, ce constructeur arrive à des effets vraiment remarquables. Ses gerbes sont ainsi illuminées à une hauteur assez grande, et les gouttelettes qui retombent sur les plateaux de verre, par lesquels la lumière est transmise, font l'effet d'autant de perles lumineuses dont la couleur peut même varier par l'interposition de plaques différemment colorées.

L'éclat de cette petite disposition eût été sans doute bien plus frappant si l'on avait pu disposer d'une source lumineuse plus intense et surtout d'un plus grand volume d'eau. Même réduite à ces dimensions, la fontaine de M. Delaporte a été cependant très-appréciée, comme elle méritait de l'être.

INSTRUMENTS DE PRÉCISION RÉUNIS DANS LA BIBLIOTHÈQUE.

Nous avons dit que la bibliothèque renfermait la plus riche collection d'instruments de tous genres, remarquables pour la plupart par la nouveauté de leurs dispositions ou de l'objet auquel ils étaient destinés.

Pour présider en quelque sorte à cette collection vraiment splendide dont il ne voulait pas rester simple spectateur, le Conservatoire avait garni les deux extrémités de la salle avec des modèles d'une grande valeur historique, qui lui ont été donnés récemment par l'Académie des sciences et la Société d'encouragement.

Ces reliques ont été religieusement saluées par les amis de la science, réunis à cette soirée, et nous payerons, comme eux, notre tribut aux gloires ainsi représentées à notre exposition.

L'appareil de Lavoisier, récemment donné au Conservatoire par l'Académie des sciences, est celui qui a été employé par ce fondateur de la chimie moderne, dans ses recherches sur la formation de l'eau par l'union de ses éléments.

Cet appareil avait en même temps pour but de déterminer la quantité de chaleur dégagée par cette combinaison, ou, en d'autres termes, la quantité de chaleur produite par la combustion lente du gaz hydrogène dans l'air vital ou oxygène.

L'expérience de la recomposition de l'eau avait été tentée dès 1783.

Dans ce premier essai, Lavoisier se proposait seulement de combiner les deux éléments, oxygène et hydrogène, en faisant arriver dans un ballon, d'abord rempli du premier de ces gaz, un courant d'hydrogène par un très-petit orifice, et en déterminant de suite la combustion à l'aide d'une étincelle électrique.

L'hydrogène brûlait à l'orifice du tuyau qui l'amenait, et cette combustion, une fois commencée, se serait continuée indéfiniment, si les deux gaz avaient été parfaitement purs; mais l'oxygène contenait toujours une certaine quantité d'azote, qui restait, sous forme de gaz, dans le ballon, et s'y accumulait, tandis que les deux éléments constitutifs de l'eau se combinaient pour former un petit volume de ce liquide, qui se rassemblait au fond du ballon. L'opération se trouvait donc arrêtée au bout d'un temps assez court.

Le seul moyen de continuer l'expérience est indiqué par Lavoisier, dans ses Mémoires : il consistait à faire le vide dans le ballon, puis à introduire de nouveau les gaz, en commençant par l'oxygène, avant de faire les deux introductions à la fois. Mais ce mode d'opérer avait l'inconvénient d'enlever sous forme de

vapeur une certaine quantité de l'eau que l'on avait préparée, et par suite de fausser le résultat définitif.

Pour obvier à cet inconvénient, Lavoisier, dans ses premières expériences, était obligé de se servir d'un ballon de 30 pintes, ce qui correspondait à un volume de 28 litres environ.

Un pareil ballon ne pouvait pas être placé dans un calorimètre; il fallait donc en réduire le volume au sixième environ, pour qu'il pût trouver place dans la cavité intérieure de cet appareil, et s'arranger en même temps pour n'employer que du gaz oxygène privé d'azote.

L'appareil ainsi modifié est celui que possède le Conservatoire; c'est le même appareil qui a servi dans les longues expériences décrites dans le Mémoire lu à l'Académie des sciences en 1793, et ayant pour titre : *Mémoire contenant les expériences faites sur la chaleur, pendant l'hiver de* 1783 *à* 1784, par P.-S. de Laplace et A.-L. Lavoisier.

En commençant ce Mémoire, Lavoisier et Laplace expliquent que, depuis l'année 1784, les occupations qui leur sont survenues les ont mis dans l'impossibilité de reprendre la suite des expériences et les ont forcés de les remettre ainsi d'année en année.

Il s'expriment ainsi au sujet de l'expérience ayant pour but la recomposition de l'eau :

« Nous avons aussi tenté d'opérer, dans le calorimètre, la combustion lente du gaz hydrogène et la recomposition de l'eau. Pour remplir cet objet, nous avons employé les gazomètres décrits dans les mémoires de l'Académie des sciences; l'un de ces gazomètres fournissait le gaz hydrogène, l'autre de l'air vital. Ces fluides étaient conduits, chacun par le tuyau qui lui était propre, à un ballon placé dans la capacité du calorimètre; le tuyau qui amenait l'air vital se terminait par une ouverture de plusieurs lignes de diamètre; celui, au contraire, qui amenait le gaz hydrogène, se terminait par un ajutage très-fin, etc.

« Le tuyau, qui était destiné à transmettre l'électricité pour allumer le gaz hydrogène, au commencement de l'expérience, n'était pas entièrement enveloppé de glace; il sortait au dehors de l'appareil, et nous nous sommes aperçus qu'il s'échauffait pendant le cours de l'opération. Il s'est donc perdu par ce tuyau une petite portion de calorique qui n'a pas été employée à fondre

de la glace, et il en résulte que la quantité ci-dessus déterminée doit être un peu faible.

« Nous avions toujours eu le projet de répéter cette expérience en corrigeant cette cause d'erreur; l'appareil est même disposé, mais le temps nous a manqué, etc. »

C'est cette disposition d'appareil que le Conservatoire a voulu rétablir dans son état primitif.

Il est presque certain que Lavoisier n'a pas repris ses expériences après la lecture du mémoire qui vient d'être indiqué. Traduit devant le tribunal révolutionnaire dans le courant de la même année, il fut exécuté dans le mois de mai de l'année suivante. La révolution française avait été assez aveugle pour ne voir qu'un fermier général dans l'un des plus grands génies du dix-huitième siècle.

Les deux gazomètres qui, avec le calorimètre, constituent l'appareil, sont décrits dans les éléments de chimie que Lavoisier publia, en 1789, dans le but de développer un mémoire spécial qu'il avait lu à l'Académie, en 1787, sur la nécessité de réformer la nomenclature de la chimie.

Ces deux instruments, que Lavoisier lui-même a désignés sous le nom de gazomètres et qu'il paraît avoir inventés, ont été construits par Megnié le jeune, opticien du roi, et portent la date de 1787.

Le calorimètre est disposé aussi en vue d'autres expériences que Lavoisier et Laplace ont également consignées dans le mémoire que nous avons cité précédemment. Ce sont les recherches relatives à la capacité calorifique des gaz, sous pression constante et sous volume constant, et les quantités de chaleur développées par la respiration des animaux. Lavoisier a développé, dans un mémoire daté de 1792, en collaboration avec M. Seguin, des considérations ramenant les conditions de la respiration à celles d'une véritable combustion s'effectuant avec lenteur.

Dans ces expériences, Lavoisier opérait sur des animaux de petit volume et pouvant résister pendant longtemps à une température très-basse. Ces conditions étaient remplies par les cochons d'Inde, qu'il plaçait dans la capacité intérieure du calorimètre. Il introduisait dans cette capacité de l'air précédemment amené à 0°, qui passait ensuite dans un serpentin avant de sortir

de l'appareil. Cet air s'échappait à la même température de 0°, à laquelle il avait été introduit.

Pour déterminer la quantité de chaleur dégagée dans cette expérience, il suffisait de recueillir l'eau provenant de la fusion de la glace contenue dans la capacité intermédiaire du calorimètre.

La recherche de la chaleur spécifique des gaz a été faite à l'aide de ce même appareil, muni d'un serpentin intérieur et d'un serpentin placé à l'extérieur et plongé dans l'eau bouillante.

Le gaz, primitivement contenu dans un premier gazomètre, s'écoulait dans le premier serpentin, s'y échauffait et passait ensuite dans le calorimètre, pour en ressortir à une température voisine de 0°. Ce gaz était ensuite accumulé dans un deuxième gazomètre qui s'emplissait peu à peu.

Lorsque le premier gazomètre était complétement vide, on ouvrait la communication du second gazomètre avec le serpentin plongé dans l'eau chaude. On portait en même temps sur celui-ci les poids additionnels du premier gazomètre, qui servait alors à recevoir l'air qui avait passé dans le calorimètre. On répétait cette même opération un très-grand nombre de fois.

Deux observateurs consignaient, de minute en minute, sur un registre, les températures du gaz à son entrée et à sa sortie du calorimètre.

Ce mode d'expérimentation permettait d'opérer sur des poids assez considérables de gaz, tout en employant des appareils peu volumineux.

Laplace et Lavoisier n'ont opéré que sur deux gaz seulement, l'air atmosphérique et l'oxygène.

On voit comment ces hommes, vraiment supérieurs, préludaient aux travaux du siècle actuel, auquel ils avaient pour ainsi dire assigné son rôle de plus complète précision dans les sciences physiques et chimiques.

Si nous remontons de deux siècles en arrière, nous nous trouvons en présence d'un mouvement scientifique non moins marqué, à une des époques où l'étude de l'astronomie, hâtant les procédés d'investigation qui étaient restés stationnaires pendant quelque temps, promettait la venue de Galilée. par les travaux des Tycho-Brahé et des Copernic.

Il suffisait de parcourir à notre soirée la longueur de la salle consacrée aux instruments de précision, pour réaliser ce voyage rétrospectif.

Deux globes célestes, récemment donnés aussi par l'Académie des sciences, marquaient la fin du seizième siècle, qui forme le point de départ de notre calendrier, et qui est resté célèbre, pour l'astronomie, par les travaux du Landgrave de Hesse et de ses émules.

Ces deux sphères célestes, en cuivre doré, rappellent les merveilles de ciselures d'un Cellini et l'admirable modelé d'un Jean Goujon. A ce titre, elles ont été remarquées sans doute; mais combien elles auraient davantage attiré l'attention des savants qui assistaient à la réunion, s'ils avaient pu en voir le mécanisme!

Ces deux pièces, d'une exécution évidemment presque contemporaine, présentent, toutes deux, une véritable énigme archéologique, en ce sens que le mouvement d'horlogerie qui fait mouvoir tout à la fois le globe de la sphère dans lequel il est logé, les aiguilles d'un cadran, et un limbe horizontal où se trouve gravé un calendrier perpétuel, est en désaccord, sur un grand nombre de points, avec ce qu'on croit savoir aujourd'hui sur les conditions de l'horlogerie aux époques contemporaines de l'exécution de ces mêmes calendriers. En d'autres termes, la combinaison mécanique y apparaît fort en avance sur ce que feraient supposer les dates positives données par les inscriptions ou déduites de la discussion des éléments fournis par les calendriers.

On dira peut-être qu'on a fait pour ces deux pièces ce qu'on a fréquemment pratiqué depuis longtemps, c'est-à-dire qu'on a fait un nouveau rouage, pour remplacer un rouage usé, dans une enveloppe dont le mérite artistique faisait désirer la conservation.

Ç'a été notre première pensée, mais outre la difficulté très-sérieuse de le faire, dans des pièces de cette espèce, un examen attentif des coquilles des deux sphères ne décèle aucune trace d'un pareil remaniement, et l'investigation la plus scrupuleuse n'a rien révélé, quant au remplacement de certains organes très-caractéristiques, auxquels les documents historiques les plus probants donnent une date postérieure de plus d'un siècle aux dates, non moins certaines, dont nous avons parlé plus haut.

Ainsi, par exemple, l'inscription de l'un des appareils donne

formellement, à leur exécution, la date de 1588; tout semble se réunir pour assigner environ la même date au second.

C'est vers 1674 qu'a eu lieu la première application du spiral réglant du balancier aux pièces d'horlogerie portatives : c'est en 1674 que l'abbé Hautefeuille présenta à l'Académie des sciences l'appareil qui fut le point de départ de sa lutte avec Huyghens. C'est en 1675 qu'il publia la brochure dans laquelle il fait valoir ses prétentions contre celles du célèbre hollandais.

Eh bien! dans les deux sphères, on trouve un balancier avec ressort spiral réglant, comportant un *avance-retard* dont rien n'indique qu'Huyghens lui-même ait fait usage, lorsqu'il appliqua le spiral à son *échappement à pirouette*, et qui, sauf les dispositions nécessaires pour le faire fonctionner du dehors de la sphère, est, en tout, semblable à l'appareil actuellement employé.

L'œil le moins exercé peut immédiatement reconnaître, entre les deux sphères, une très-grande différence, soit dans la conception même du mécanisme, soit dans son exécution matérielle, et l'identité des conditions des deux balanciers implique forcément la connaissance de leur emploi, au moins par les deux artistes, à l'époque de l'exécution des deux mécanismes.

Dans tous deux les dentures sont exécutées à la main; mais, dans l'un, l'exécution est grossière, tandis que, pour l'autre, il a fallu un examen très-attentif pour arriver à conclure que le fini et surtout l'égalité de la denture ne résultait pas de l'emploi d'une plate-forme, comportant l'exactitude des machines-outils dont l'horlogerie fait usage aujourd'hui.

D'autres conditions différencient encore les deux mécanismes :

Dans l'un d'eux la clef remonte simultanément le rouage du mouvement et la sonnerie.

Dans l'autre, c'est bien la même clef qui remonte le tout, mais en des temps différents; en d'autres termes, le carré du *remontoir* peut prendre trois positions différentes, au moyen de trois encoches circulaires pratiquées sur le cylindre qui le suit, dans l'intérieur de la sphère, et dans lesquelles s'engage un ressort très-flexible pour le maintenir dans chaque position. Dans la première, le pignon qui le termine remonte le mouvement proprement dit; dans la seconde position, c'est-à-dire avec un peu plus d'enfoncement, ce pignon remonte la sonnerie des heures et des demies; enfin, dans la troisième, il remonte la sonnerie des quarts.

Nous ne pousserons pas plus loin, quant à présent, l'examen comparatif des deux mécanismes parce que, appliqués à des fonctions qui diffèrent dans chaque sphère, ils épaissiraient probablement le voile qui couvre également la partie historique de l'énigme archéologique que nous n'avons pas encore pu deviner et dont nous allons compléter l'exposé.

L'une des sphères, celle dont le mécanisme intérieur est le plus grossièrement exécuté, porte l'inscription suivante sur la tranche du cercle horizontal :

HOC OPUS ARTIFICIS CŒLAVIT DEXTRA PERITI QUI JUSTI BURGI NOMEN ET OMEN HABET. — POSTQUAM CATTORUM GUILHELMUS TEMPORA PRINCEPS DISSONA STELLARUM SEDIBUS ESSE VIDET. — EN OBSERVATIS GRADIBUS GRADUUMQUE MINUTIS RECTIUS HIC PROPRIIS REDDIDIT ASTRA LOCIS. — HINC JUSTA HORARUM MENSURA HINC MOTUS OLYMPI, HINC LUNÆ ET SOLIS META DIESQUE PATENT.

Deux noms ressortent de cette inscription : celui de Guillaume IV, Landgrave de Hesse (1532 à 1592), grand amateur d'astronomie, et celui de Juste Byrge (souvent écrit Borgen, Birge, ici Burgus) qu'il s'attacha comme constructeur d'instruments de précision.

La sphère qui porte cette inscription ne laisse guère d'indécision sur sa date, qui oscille, à une année près, autour de 1580. Elle se rapporte au calendrier Julien ; mais fût-elle même postérieure à la réforme grégorienne (1582), il n'y aurait pas lieu de s'en étonner : le Landgrave Guillaume, sans contester la nécessité ou même l'utilité de cette réforme, s'étant formellement prononcé contre elle, uniquement à cause du ton impérieux que prenait le Pape dans la bulle qui l'imposait à tous les peuples ; mais la date que nous lui donnons sans hésitation résulte clairement des indications de l'épacte et de la lettre dominicale de la première année inscrite sur les calendriers de la pièce.

« Juste Birge, dit Bailly dans son histoire de l'*Astronomie moderne*, Suisse et né en 1552, paraît avoir eu des talents plus distingués (que Christophe Rothman). Il eut d'abord la plus grande réputation pour la construction des instruments ; il est l'inventeur du compas de proportion. Birge succéda à Rothman, et observa à Cassel depuis 1590 jusqu'en 1597. Il était si laborieux qu'il entreprit et qu'il finit le travail de calculer les *sinus* de deux secondes en deux secondes. Ce travail pénible et long nous

fait croire à la découverte que Kepler lui attribue; c'est celle des logarithmes dont nous parlerons ailleurs. Cette invention dut lui épargner beaucoup de temps et de peines dans des calculs presque interminables sans cette ressource. Mais cette idée ne fut point un bienfait pour les hommes. Juste Birge était si peu curieux de gloire que sa découverte n'a jamais vu le jour. Pour que les hommes en aient joui, il a fallu qu'elle fût imaginée de nouveau par le baron de Neper, qui en est pour nous le véritable inventeur.

« Becker a fait honneur à Juste Birge d'une découverte également importante, c'est celle du pendule et de son application aux horloges. Cette assertion paraît sans vraisemblance. Birge mériterait moins d'éloges que de blâme d'avoir atteint cette invention et de l'avoir laissée périr sans fruit et sans publicité; mais cette attribution vraie ou fausse, montre l'idée qu'on avait de son mérite, et l'estime de ses compatriotes, qui lui ont fait l'honneur de ces deux découvertes, les plus belles peut-être, ou du moins les plus utiles de l'esprit humain. »

Les reproches de Bailly datent d'une autre époque que la nôtre. On ne se plaint plus que les savants ne fassent pas connaître leurs découvertes, et l'apparente culpabilité de Birge ne peut diminuer en rien le respect avec lequel doit être accueillie cette œuvre, qui date de près de trois siècles, et qui est assurément contemporaine de la réformation du calendrier.

Bailly dit encore ailleurs : « On construisit des horloges qui marquaient les mouvements du soleil et de la lune (16e siècle); mais surtout on les rendit capables d'indiquer les minutes, les secondes, et l'on eut une connaissance plus détaillée de la marche du temps. On construisit des instruments de métal au lieu des instruments de bois de Copernic et de Reinold. On les fit plus grands, on y appliqua l'invention des transversales pour en multiplier les subdivisions. Juste Birge, et surtout Tycho firent ces changements qui amenèrent une révolution dans l'art d'observer. » Cette seule citation donne à la pièce de Birge une valeur inestimable.

La seconde sphère a-t-elle une origine aussi illustre? Sa date est certainement plus précise, car elle a pour inscription :

GLOBUS STELLIFERI MOTU LUMINARIUM AUTOMATAQUE

IOAN REINHOLDI SUMMA CURA
ET INTELLIGENTIA ACCOMMODATUM
ET RECENTER ELABORATUM AUGUSTÆ 1588.

Le calendrier de celle-ci est bien le calendrier réformé. La gravure du limbe horizontal le dit formellement, et il comprend les années 1588 à 1674.

On connaît deux Reinold, père et fils, portant tous deux le prénom d'Érasme. Le père, né à Salfeldt (Thuringe), en 1511, paraît s'être occupé exclusivement de mathématiques et d'astronomie, qu'il professa avec succès à l'Université de Wittemberg, où il mourut en 1553 en prononçant ce paroles : *Vixi, et quem dederas cursum mihi, Christe, peregi.*

Son fils, né également à Salfeldt, y exerça la médecine. Il s'occupa aussi de mathématiques et d'astronomie. On lui doit une *Géométrie souterraine* (1575) et des *observations* sur la nouvelle étoile qui parut dans la constellation de Cassiopée en 1572. Les biographies consultées n'indiquent pas la date de sa mort, et aucune ne fait mention du Jean Reinhold dont le nom figure dans l'inscription gravée sur la sphère. Il serait curieux de savoir si Jean Reinhold, l'habile artiste que nous ne connaissons que par cette pièce, appartient à la même famille d'hommes distingués.

Nous ne décrirons pas les œuvres admirables des Pierre Leroy et des Berthoud qui formaient cortége aux deux pièces énigmatiques que nous venons de décrire, et qui nous ont un peu éloigné des œuvres contemporaines que nous avons mission de faire valoir. Il nous suffit d'avoir cité la valeur historique des premières pour montrer sous quel patronage les autres avaient été placées.

Plus que jamais l'art d'observer prend dans la science une importance prépondérante; et, si la perfection de l'exécution nous offre des facilités qu'ignoraient les générations qui nous ont précédés, il faut plus que jamais qu'elle soit guidée par des intelligences sûres d'elles-mêmes et indiquant sans ambiguïté la voie qu'il faut suivre.

C'est pour faire ressortir l'influence de la pensée créatrice, pour indiquer clairement la mission du Conservatoire vis-à-vis

des industriels et des chercheurs, que l'administration du Conservatoire a tenu à honneur de faire figurer en première ligne, dans cette exposition, les appareils imaginés ou construits sous la direction de MM. les professeurs.

Interprète du désir exprimé à cet égard, nous dirons quelques mots des appareils d'observation qui ont pris naissance parmi nous, et qui ont été placés, dans la bibliothèque, à côté de ceux de nos constructeurs les plus habiles.

En l'absence de M. Boussingault nous avons demandé à son préparateur de disposer dans la bibliothèque l'appareil qu'il a si heureusement appliqué au dosage de l'ammoniaque dans les eaux.

Les eaux naturelles des fleuves, des sources, de la pluie, de la neige, etc., contiennent de l'ammoniaque, ordinairement en très-faible proportion. La détermination exacte de cette ammoniaque offre beaucoup d'intérêt et exige d'ailleurs un procédé extrêmement rigoureux. Voici de quelle manière M. Boussingault a résolu le problème :

Il introduit un volume d'eau déterminé dans un ballon de deux litres de capacité. Ce ballon porte un bouchon traversé par deux tubes ; l'un de ces tubes aboutit à un serpentin qui condense les vapeurs ammoniacales, l'autre, qui est prolongé jusqu'au fond du ballon, sert à introduire le liquide et la petite quantité de potasse qui déplacera l'ammoniaque de ses combinaisons salines. Il peut de plus se transformer en siphon et sert à vider le vase à la fin de chaque opération.

Le liquide étant introduit dans le ballon avec la potasse, on fait bouillir et l'on condense les vapeurs qui entraînent toute l'ammoniaque ; on peut être sûr d'avoir enlevé tout l'alcali, quand on a recueilli les deux cinquièmes du volume de l'eau mise dans le ballon.

Le liquide condensé contient sous un faible volume l'ammoniaque de l'eau en expérience. On détermine la proportion de cet alcali à l'aide d'une liqueur titrée acide, renfermant dans 10 centimètres cubes $0^{gr},06125$ d'acide sulfurique mono-hydraté et saturant par conséquent $0^{gr},02125$ d'ammoniaque.

Pour cela on verse dans le produit de la distillation 10 centimètres cubes de cet acide, on ajoute quelques gouttes de tournesol *sensible* et l'on sature l'acide à l'aide d'une eau de chaux

contenue dans une burette graduée. Lorsque la saturation, commencée par une quantité indéterminée d'ammoniaque est achevée par l'eau de chaux, on note la quantité de cette liqueur employée. Enfin on titre l'acide, c'est-à-dire qu'on en prend 10 centimètres cubes que l'on sature comme précédemment avec la même liqueur alcaline. Supposons qu'il faille employer 300 div. d'eau de chaux pour faire passer au bleu le tournesol rougi par l'acide sulfurique, et que d'un autre côté il ne faille plus que 250 div. d'eau alcaline lorsque l'acide titré a été ajouté au produit de la distillation de l'eau dans laquelle on veut doser l'ammoniaque; il est évident que dans ce cas 50 div. d'eau de chaux ont été remplacées par une certaine quantité d'ammoniaque.

Or, 300 div. d'eau de chaux saturent l'acide sulfurique titré comme $0^{gr},02125$ d'ammoniaque. Cinquante divisions d'eau de chaux représentent par conséquent une quantité d'ammoniaque indiquée par $\frac{0,02125 \times 50}{300}$.

On voit par ces indications que ce procédé permet de constater dans un litre d'eau $\frac{3}{100}$ de milligramme d'ammoniaque. Il est bien entendu que pour arriver à ce degré de précision il ne faut négliger aucune des précautions indiquées par M. Boussingault, dans le mémoire qu'il a publié à ce sujet. Avec de pareils moyens d'investigation, la science ne saurait manquer de revendiquer les plus petites sources de l'azote, cette manne si indispensable à la vie animale, et qui est en même temps un des éléments principaux de la végétation.

La mesure des hautes températures était représentée par trois appareils indiquant respectivement les trois méthodes employées par M. Becquerel dans ses recherches : « méthode du pyromètre à air; méthode thermo-électrique; méthode optique. » Ainsi que l'indique le mémoire original que nous avons publié dans ce recueil, la méthode thermo-électrique était appliquée pour la première fois à la mesure des températures élevées; on sait que depuis plusieurs années M. Becquerel père utilise les courants thermo-électriques pour suivre les variations, si minimes qu'elles soient, qui surviennent dans la température de l'air et de la terre. Le modèle du thermomètre électrique de M. Becquerel, construit par M. Ruhmkorff, pour la galerie de physique du

Conservatoire, figurait à côté des appareils destinés aux hautes températures; on pouvait donc se convaincre de la généralité de l'application du principe de la thermo-électricité. Seulement, M. Becquerel père fait usage d'un circuit fer et cuivre, et M. E. Becquerel a dû adopter un circuit différent, platine et palladium.

La méthode optique dont l'originalité revient à M. E. Becquerel, est basée sur l'accroissement du pouvoir irradiant des corps avec l'élévation de température. Si donc on trouvait la relation qui lie l'intensité de la lumière émise par le corps, et son état calorifique, on en déduirait un nouveau procédé pyrométrique s'appliquant précisément à partir de la limite d'action des procédés déjà connus. Le *pyromètre optique*[1] de M. E. Becquerel a résolu la question, et notre collègue a prouvé de cette manière l'exagération des idées qui étaient admises sur les températures produites à l'aide des moyens actuels. C'est ainsi que la plus élevée, celle de l'arc voltaïque, ne dépasse pas 2100°; celle de la fusion du platine, 1600.

Les principales expériences relatives à l'important travail de M. Edmond Becquerel sur la phosphorescence ont été répétées pendant la soirée, dans le grand amphithéâtre et dans le laboratoire adjacent. Le public a vu ces phosphores artificiels qui conservent, après l'insolation, la faculté d'émettre de la lumière pendant plusieurs heures, et qui, possédant une même composition chimique, vibrent différemment selon l'état physique qui leur a été communiqué, semblables, sous ce point de vue, à des cordes qui rendent des sons d'autant plus élevés qu'elles sont tendues davantage. M. E. Becquerel est parvenu à faire rendre, par phosphorescence, les couleurs du spectre au sulfure de calcium et au sulfure de barium convenablement préparés.

Il est à remarquer que les rayons *phosphogéniques* sont précisément les rayons chimiques, c'est-à-dire le bleu et le violet, y compris la partie extra-violette; aussi, ces *phosphores* doivent-ils être très-fortement impressionnés par la lumière électrique; une manière de le prouver, c'est de les placer dans un tube vide

1. Aucune question ne saurait avoir plus d'intérêt pour l'industrie, que celle de la détermination exacte de la température nécessaire aux diverses opérations des arts.

d'air, à travers lequel on fait passer une étincelle émanant de la bobine d'induction; après son passage, la matière émet une vive lumière; « elle vibre selon sa capacité propre, » l'étincelle faisant en quelque sorte un office analogue à celui d'un archet.

S'il existe des substances qui conservent, pendant plusieurs heures, le mouvement vibratoire que leur a imprimé la lumière, la plupart des corps cristallisés jouissent également de cette faculté, mais ils ne la conservent que pendant une fraction de seconde. Ce fait a été démontré par M. E. Becquerel à l'aide du *Phosphoroscope*. Cet appareil[1] permet de fractionner à volonté, et dans les limites les plus restreintes, le temps qui s'écoule depuis l'insolation d'un corps jusqu'à sa rentrée dans l'obscurité. Placé d'une manière fixe, entre deux disques mobiles percés inversement, le corps insolé ne peut être aperçu pendant cette insolation, mais une des ouvertures le découvre dès que la lumière cesse de le frapper. A ce moment, s'il est lumineux, ce ne peut être qu'en vertu de sa faculté phosphorescente. Comme il est aisé d'évaluer le nombre de tours exécutés par le système des disques, on aura, d'après le nombre d'*ouvertures* et de *pleins*, la connaissance exacte du temps pendant lequel dure l'état phosphorescent du corps.

C'est ainsi que M. E. Becquerel a mesuré cette durée de conservation depuis $\frac{1}{10}$ de seconde (correspondant au spath-d'Islande) jusqu'à $\frac{3}{1000}$ de seconde (correspondant au verre). S'il a été impossible, jusqu'alors, d'atteindre une vitesse de rotation assez grande pour dénoter la faculté phosphorescente des solides amorphes et des liquides, ce n'est certes pas une raison pour leur dénier cette propriété. Le phosphoroscope autorise donc les physiciens à considérer la *phosphorescence* comme une propriété générale de la matière, variable seulement, dans ses effets, suivant la nature et suivant l'état moléculaire de chacun d'eux.

Les observations précises ne sont pas seulement nécessaires dans les travaux de la science pure, et le moment est venu où l'on reconnaît que l'art d'observer est de tous les moyens d'investigation que l'homme possède, celui qui doit servir de base à tous ses travaux d'application.

1. Voir, pour le mémoire original, les *Annales de Physique et de Chimie*.

Le Conservatoire a été doté cette année d'une chaire nouvelle, en remplacement de celle qui avait été si dignement occupée par notre regretté collègue, M. Baudement. La nouvelle chaire est consacrée aux travaux agricoles et au génie rural, et elle doit avoir pour effet de vulgariser les immenses progrès qu'a faits la pratique agricole depuis l'introduction des machines, et les perfectionnements des travaux de drainage, de desséchement et d'irrigation.

L'étude des phénomènes atmosphériques est trop intimement liée à la production agricole pour que notre nouveau collègue, M. Hervé Mangon, n'ait pas aussi fait ses preuves, non-seulement comme ingénieur chargé de grands travaux d'amélioration, mais encore comme observateur consciencieux et patient. On lui doit déjà quelques instruments météorologiques qui ont un caractère spécial, et qui tendent surtout à augmenter la somme des données utiles à l'agriculture.

M. Mangon avait bien voulu nous envoyer trois de ses appareils; ils sont appelés à rendre de grands services, et nous les décrirons rapidement.

1° *Pluvioscope à cadran.* — Les pluviomètres ordinairement employés font connaître le volume de l'eau recueillie dans un temps donné sur une surface déterminée. En général, on observe le pluviomètre une fois par jour, sans se préoccuper si le volume d'eau obtenu est tombé en une ou plusieurs fois, en quelques minutes ou en plusieurs heures.

Ces instruments ne fournissent donc aucune indication sur la nature des gouttes de pluie, sur leur nombre, sur leur volume, sur les variations qu'elles éprouvent en traversant une couche d'air plus ou moins épaisse, sur leur direction, sur la marche d'une ondée dans une contrée un peu étendue, etc.

Ces divers renseignements auraient cependant beaucoup d'intérêt, non-seulement pour l'étude scientifique du phénomène de la pluie et du régime des cours d'eau, mais surtout au point de vue des effets de la pluie sur la végétation et sur l'ensemble des caractères agricoles des différents pays.

L'humidité ou la sécheresse d'un pays, dans le sens usuel de ces expressions, est un phénomène complexe dans lequel interviennent, comme éléments principaux, les propriétés hygrosco-

piques du sol, l'état hygrométrique de l'air et le régime des pluies.

Le nombre et la distribution des pluies, tout le monde le sait, exercent, sur la nature et le développement des récoltes, une influence considérable qui n'est pas en rapport avec le volume absolu de l'eau recueillie dans les pluviomètres.

La quantité moyenne annuelle de pluie tombée à Paris ($0^m,53$) et à Marseille ($0^m,56$), par exemple, est à peu près la même, et personne assurément ne prétendra rapprocher deux climats aussi dissemblables; mais, si l'on tient compte du nombre de jours de pluie, qui est près de trois fois plus grand à Paris qu'à Marseille, on commence à comprendre la différence que présentent ces deux localités au point de vue du phénomène spécial qui nous occupe; on la comprendrait encore bien mieux, si l'on comparait entre eux, non pas les nombres de jours de pluie, mais les nombres d'ondées tombées dans ces deux villes.

Pour caractériser un climat, au point de vue de la pluie, le volume d'eau tombé annuellement est donc une donnée insuffisante. Il faut y ajouter l'indication du nombre des ondées et de leur répartition entre les diverses saisons.

Pour étudier le phénomène de la pluie avec plus de détails qu'on ne le fait avec les pluviomètres ordinaires, M. Mangon s'est proposé d'enregistrer l'heure et la durée de chaque pluie, de compter les gouttes d'eau tombées pendant une ondée, de les peser et de déterminer la direction de leur chute.

La solution de ces divers problèmes devient facile, si l'on dispose d'une surface pouvant conserver indéfiniment la trace des gouttes d'eau qu'elle reçoit lorsqu'on l'expose à la pluie. Après un assez grand nombre d'essais, il est parvenu à préparer un papier ou un tissu jouissant de cette propriété, en le trempant dans une dissolution de sulfate de fer, le laissant sécher, puis le frottant avec un mélange de noix de galle et de sandaraque, en poudres très-fines. Chaque goutte d'eau, tombant sur la surface ainsi préparée, y laisse une teinte noire bien définie.

Cela posé, on conçoit facilement qu'un cadran de ce papier sensible, faisant un tour en 24 heures et étant placé horizontalement dans une caisse circulaire portant une ouverture à l'extrémité de l'un de ses rayons, indiquera par des traces noires parfaitement distinctes l'heure et la durée de chaque ondée.

C'est cet instrument que M. Mangon a désigné sous le nom de pluvioscope.

La comparaison du développement des récoltes avec l'observation du nombre et des époques des ondées ferait connaître, assez promptement, les conditions de sécheresse ou d'humidité les plus convenables aux différentes phases de la végétation de chaque plante. De nombreuses études sont à entreprendre dans cette voie nouvelle.

Sans multiplier les chiffres, nous citerons seulement comme exemples les résultats suivants, empruntés à un travail de M. Mangon.

Le 26 juin 1860, par une petite pluie, il tombait par hectare et par minute, 1 826 000 000 gouttes de pluie; le 28 juin il ne tombait que 94 000 000 gouttes par hectare et par minute.

Du 1er septembre 1860 au 28 février 1862 (six saisons), il y a eu 261 jours de pluie; il est tombé 873 ondées le jour et 763 la nuit, en tout 1636; la durée de la pluie a été de 370h 59m pendant le jour, de 341h 1m pendant la nuit, en tout de 712 heures; la durée moyenne des ondées a été de 25 minutes environ. Enfin le rapport de la durée de la pluie au temps total a été de 0,0673 le jour, de 0,0489 la nuit, et en tout, de 0,0543. La plus longue durée de la pluie en 24 heures a été de 18h 30m le 11 octobre 1860. La plus longue ondée a eu lieu le 27 juillet 1861; elle a duré 3h 55m sans interruption. Le plus grand nombre d'ondées observé en 24 heures a été de 21, le 8 juillet 1861.

On comprend facilement l'importance de pareilles données si elles étaient généralisées.

2° *Pluviomètre totaliseur.* — Cet instrument ne diffère des pluviomètres ordinaires que par l'addition d'un réservoir inférieur dans lequel l'eau est introduite, après chaque observation, à l'aide d'un robinet. Le produit des jours de pluie d'une période plus ou moins longue se trouve ainsi *totalisé* et doit être égal à la somme des pluies partielles, enregistrées journellement. On obtient ainsi un moyen de vérification des observations isolées. Si le déversoir ferme à clef et ne peut être vidé que par la personne qui dirige les observations, on comprend que les agents inférieurs, chargés des manœuvres, se trouvent soumis à un con-

trôle qui assure la régularité et la sincérité de leurs observations.

3° *Anémomètre électrique.* — Les instruments destinés à observer la vitesse et la direction du vent ne peuvent donner des indications exactes qu'autant qu'ils sont isolés de toute construction et placés au sommet de mâts d'une grande élévation. Dans de telles conditions on ne peut songer pratiquement à enregistrer les indications de ces instruments à l'aide des transmissions rigides ordinaires et l'on se trouve conduit à l'emploi de l'électricité, transmise par des fils flexibles, et aussi longs que l'exige la distance qui sépare l'anémomètre de l'observatoire.

L'anémomètre dont il s'agit ne diffère de ceux qui ont été proposés pour le même objet, que par une construction plus simple et plus solide. — En remplaçant les pointeurs fixes par des trembleurs, qui n'exigent aucun soin de règlement, en substituant une bande de papier télégraphique avec cylindre enregistreur, et en apportant quelques simplifications au commutateur et à l'horloge, on a pu rendre sa marche parfaitement pratique et réduire son prix dans une forte proportion. — Une quinzaine de ces anémomètres fonctionnent déjà depuis longtemps.

L'instrument inscrit sans cesse la vitesse du vent et sa direction d'une manière continue ou intermittente. Il donne les huit directions principales, ou les rapports des temps pendant lesquels chaque direction a soufflé.

Ces instruments, *qui fonctionnaient dans l'une des cours du Conservatoire*, ne pouvaient être mieux placés que dans une séance donnée dans l'intérêt de l'avancement et de la vulgarisation de la météorologie.

Personne assurément ne songerait à nous reprocher de ne pas avoir dit un mot de notre petite part personnelle au milieu de tous ces instruments. Mais pour user envers tous de la même justice distributive, nous dirons cependant que nous avions disposé, pour le faire fonctionner dans la salle des machines en mouvement, le grand appareil qui nous a servi, dans nos recherches avec M. Laboulaye, pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. Nous avions réservé cet appareil, qui n'était pas inscrit au programme de la fête, pour le cas où quelqu'autre expérience aurait été empêchée. Rien de semblable ne s'étant

présenté, nous nous félicitons d'avoir fait nos préparatifs en pure perte.

Un mot cependant sur la portée de ces recherches et sur le procédé d'expérimentation. Au point de vue philosophique, l'idée de l'équivalence entre la chaleur et le travail mécanique, est certainement du plus grand intérêt. En même temps qu'elle ouvre des horizons nouveaux à nos recherches, elle nous apprend une fois de plus que, dans le monde physique, si rien ne se crée, rien non plus ne se perd, et que la chaleur que nous voyons disparaître, parce que nous ne savons pas l'utiliser, se retrouve ailleurs et toujours, sous la même forme ou sous celle d'un travail développé.

Le procédé auquel nous avons eu recours pour l'étude de cette transformation, consiste tout simplement à comprimer de l'air dans un grand réservoir d'une capacité de 3 mètres cubes ; à laisser revenir cet air, du jour au lendemain, à la température ambiante ; à le faire écouler pendant un temps très-court au moyen d'un robinet, et à mesurer l'abaissement de température résultant nécessairement de cet écoulement.

Le procédé, comme on le voit, est simple, mais sa réalisation entraînait quelques difficultés en ce que rien n'est plus délicat que la détermination exacte de la température d'une masse gazeuse. Nous n'avons trouvé d'autre moyen plus précis que celui qui consiste à transformer cette masse en un véritable thermo-manomètre, dont le réservoir lui-même serait l'enveloppe.

Au lieu de chercher à connaître la température, nous observions la pression au moment où l'équilibre s'était à nouveau rétabli avec la chaleur ambiante. Seulement au lieu d'observer à l'aide des yeux, nous observions par des moyens graphiques qui nous ont permis d'obtenir, sous forme de grands diagrammes, l'indication des variations successives de la pression pendant la période d'écoulement et pendant la période de réchauffement qui la suit.

Ces tracés ont servi à reconnaître la loi du réchauffement et à faire les corrections nécessitées par le réchauffement, également produit aux dépens de l'enveloppe pendant l'écoulement même. L'ensemble des déterminations a fourni pour l'équivalent mécanique de la chaleur le chiffre de 433 kilogrammètres, très-voisin de celui de Joule.

Notre éminent directeur, qui avait exprimé le désir de voir figurer à l'exposition de cette soirée quelques-uns des appareils qui ont pris naissance au Conservatoire, aurait échappé, sans doute, à cette loi qu'il nous avait faite, si les constructeurs ne s'étaient, de leur propre mouvement, chargés d'apporter les appareils qui ont été construits à diverses époques sous son inspiration.

C'est ainsi que l'on voyait figurer parmi les modèles de M. Clair, un dynanomètre de rotation à style et l'appareil à cylindre tournant, si bien approprié à la détermination de la loi de la chute des corps; c'est ainsi encore que M. Hardy faisait fonctionner l'anémomètre à compteur électrique qui sert, depuis quelque temps déjà, à contrôler d'une manière continue les quantités d'air renouvelées par le système de ventilation, organisé par le général Morin dans les amphithéâtres du Conservatoire.

Ce système a été décrit, avec tout le soin convenable, dans ces Annales, et les personnes qui ont voulu en visiter les diverses parties ont pu profiter de la soirée scientifique pour parcourir les galeries par lesquelles une partie de l'air neuf vient s'échauffer, aux parois des calorifères, avant son mélange avec l'air puisé dans les régions supérieures de l'atmosphère. Le public, également admis dans les galeries de ventilation, a pu se rendre compte par lui-même de l'énergie et de la régularité avec laquelle fonctionne cette magnifique installation, qui demanderait à être imitée, avec les modifications que les localités imposeraient, dans un plus grand nombre de lieux de réunion fréquentés par un nombreux public.

Plusieurs théâtres sont déjà munis des appareils nécessaires, mais ils y fonctionnent avec trop de parcimonie. Nous annonçons avec plaisir que nous venons de faire une installation analogue dans la salle des séances de la Société d'encouragement, et nous ne doutons pas qu'on n'apporte à son fonctionnement tous les soins que comportent de semblables appareils.

M. Clair, qui a la spécialité des modèles destinés à l'enseignement des sciences et particulièrement à celui de la mécanique, n'avait apporté qu'avec une grande parcimonie quelques-uns de ses appareils les plus récents.

Le petit dynanomètre de rotation à style est une reproduction à moitié grandeur du grand instrument qui est employé

dans les principales déterminations qui sont faites au Conservatoire.

Ce dynanomètre, du système de M. le général Morin, est muni de la manivelle à course variable dont l'emploi est nécessaire pour l'essai des pompes, et de toutes les machines dans lesquelles la résistance est appliquée à l'extrémité d'une bielle ou de tout autre organe à mouvement alternatif.

Ce petit modèle, dont la poulie n'a qu'un diamètre de 0,50 mètre, pourrait être utilisé dans tous les cas où le travail dépensé ne dépasserait pas un cheval; les tracés s'effectuent encore d'une manière convenable pour une vitesse de rotation de cent tours par minute sur l'arbre des poulies.

Le modèle réduit de l'appareil à cylindre tournant, destiné à tracer la parabole, qui forme la relation entre l'espace parcouru par un corps qui tombe et le temps de la chute, est devenu tout à fait classique.

M. Clair en a construit plus de deux cents exemplaires pour les établissements d'enseignement de tous les pays. Nous y avons ajouté un moyen de lancer le mobile de bas en haut, et de vérifier ainsi, par l'expérience même, l'identité entre la course ascendante et la course descendante qui la suit.

Avec ce petit modèle on peut encore, malgré l'exiguïté de ses dimensions, apprécier les temps correspondants aux diverses parties de la chute à raison d'un centième de seconde par millimètre.

M. Clair est aussi le constructeur qui a bien voulu se charger d'apporter à l'indicateur de pression de Watt, les diverses modifications dont l'expérience nous avait démontré l'utilité. En exécutant toutes les pièces mobiles en aluminium, leur inertie exerce beaucoup moins d'influence sur les tracés, qui sont encore très-satisfaisants lorsque la machine à essayer fait 100 ou 120 tours par minute.

Le cylindre de cet instrument est enveloppé d'une chemise de vapeur; et, en donnant rigoureusement à l'orifice du robinet la même section qu'au cylindre lui-même, nous avons évité les remous et les refroidissements qui produisent habituellement des erreurs notables dans les expériences de ce genre. Ce robinet est aussi disposé de manière à purger le cylindre de l'indicateur et son enveloppe, toutes les fois qu'on le juge nécessaire.

On n'a peut-être pas accordé le degré d'attention convenable aux trois tableaux mobiles exécutés par M. Clair et représentant respectivement la machine à vapeur de Watt modifiée, le marteau-pilon et la machine à colonne d'eau d'Huelgoat. Sur un panneau figurant une coupe des parties fixes de chacune de ces machines, M. Clair a donné la mobilité convenable aux tiges, aux soupapes et aux pistons. La peinture de ces modèles est exécutée par M. Clair lui-même dans un très-bon sentiment, et l'on peut dire, en toute raison, que des tableaux ainsi faits sont bien plus démonstratifs que les machines elles-mêmes; leurs dimensions sont d'ailleurs telles qu'ils conviennent parfaitement pour les plus grands amphithéâtres et les cours populaires, et il n'est pas nécessaire d'ajouter que les prix ne dépassent pas le triple de ce que coûterait seulement un bon dessin.

Dans le remarquable rapport qu'a publié M. Dumas comme président de la commission du prix de 50 000 francs pour les applications de la pile de Volta, M. Froment, qui est membre du conseil de perfectionnement du Conservatoire, est représenté comme possédant par lui-même un véritable Conservatoire des applications de l'électricité. Cette parole, nous avouons que nous l'avons exploitée pour décider M. Froment à nous apporter un grand nombre de modèles qui devaient, à divers points de vue, intéresser le public. Il a fallu exercer sur sa modestie une pression morale énergique pour le décider à entreprendre ce voyage; mais une fois décidé il s'y est mis de tout cœur; et ce constructeur, soigneux jusqu'à l'excès, a même pris le parti énergique d'apporter, non pas ses modèles les mieux exécutés, mais souvent ceux qui avaient le mérite d'être la première réalisation d'une pensée qui, pour lui, avait date certaine. L'exposition de M. Froment constituait donc une sorte de musée historique des applications de l'électricité, et nous chercherons à faire ressortir ce caractère en citant, autant que nous le pourrons, quelques dates.

Nous étions ensemble sur les bancs du collége, que déjà Froment s'occupait d'électricité; il avait déjà construit deux électro-moteurs au sortir de l'École polytechnique (1837); depuis lors il se voua complétement à des recherches de même nature, et il ne faut pas s'étonner qu'avec la persévérance

et l'habileté qu'on lui connaît, il ne soit pour ainsi dire resté étranger à aucun des progrès qui se sont succédé, le plus souvent avec son concours, dans ces trente dernières années.

Les moteurs électriques l'ont beaucoup occupé, et encore, bien qu'il soit le premier à reconnaître qu'ils ne peuvent pas produire, en abondance et à bon marché, du travail, il a su leur trouver, pour la construction des instruments de précision, des applications très-intéressantes dans lesquelles on ne saurait les remplacer avec avantage. C'est ainsi que l'une des premières applications qu'il ait faites, en ce genre, consistait en une machine destinée à diviser, à la pointe de diamant, un millimètre en mille parties égales; les traits de chaque division, les traits plus longs de chaque dizaine et de chaque demi-dizaine, les traits plus accentués encore des centaines s'effectuaient d'eux-mêmes sur la pièce de verre convenablement placée; et, lorsque l'opération était terminée, le tout s'arrêtait, mais non sans prévenir par un timbre que la machine était prête à recommencer le même travail.

Lorsqu'on cherche à se rendre compte de tous les détails d'une combinaison mécanique satisfaisant à ces mille petites conditions, on entrevoit qu'il peut y avoir certains cas où un moteur doux et docile puisse rendre des services d'agilité et de précision.

L'histoire tout entière des moteurs électro-magnétiques se trouvait représentée par les modèles de M. Froment. Tous ces appareils fonctionnent d'après le même principe : c'est toujours un électro-aimant qui attire une armature de fer, et qui l'abandonne ensuite, lors de la suppression du courant qui déterminait sa puissance attractive, en laissant à un autre électro-aimant, disposé un peu plus loin, le soin d'agir à son tour sur cette même armature. Multipliez le nombre des bobines, disposez-les devant de nombreux barreaux de fer doux, faites que les actions se succèdent avec la plus grande régularité, et vous formerez ainsi autant de machines électro-magnétiques que vous imaginerez de groupements différents. La meilleure de ces combinaisons sera celle qui satisfera le mieux possible à la condition d'un effort constamment renouvelé avec la même énergie. Voici les désignations des machines électro-magnétiques qui composaient la collection de M. Froment :

1° Moteur oscillant à un seul électro-aimant agissant simulta-

nément sur les deux extrémités d'une même pièce oscillante (1845). La transmission se fait, au moyen d'une bielle, à un arbre secondaire qui agit sur l'arbre principal par l'intermédiaire d'un levier amplificateur, d'une bielle et d'une manivelle. Ce type de machine était également représenté par un modèle dans lequel le système était doublé, et par un autre modèle plus grand, à quatre électro-aimants horizontaux, accouplés sur un même arbre. Cette combinaison date aussi de l'année 1845;

2° Moteur à quatre électro-aimants, dans lequel chaque paire agit latéralement sur une glissière cunéiforme, dont les déplacements sont transformés en mouvement de rotation continu par bielle et manivelle (1848);

3° Moteurs épicycloïdaux dans lesquels les attractions sont produites suivant les rayons successifs d'un même cercle autour duquel sont placés les électro-aimants. Ce principe est réalisé de plusieurs façons; les électro-aimants sont fixes, et les armatures en fer doux appartiennent au cercle mobile excentré (1847), ou bien les fers et les électro-aimants sont mobiles, respectivement autour de deux axes fixes et parallèles entre eux.

4° Moteurs à rotation directe dans lesquels les électro-aimants sont placés, suivant les rayons, autour d'une roue concentrique garnie de fers doux.

Le plus petit des deux modèles a été construit en 1844 et a figuré dans les leçons de M. Pouillet, au Conservatoire, en 1848.

5° Moteur à bobines creuses, attirant la pièce centrale qui tend ainsi à se placer dans l'axe, dans une position symétrique par rapport aux extrémités de la bobine. L'idée de cet appareil est américaine; elle a été réalisée en 1850 à l'aide d'une transmission par bielle et manivelle; elle se recommandait surtout par l'avantage qu'elle offrait d'obtenir immédiatement une grande course. Ce modèle, qui est encore dans son état primitif, était accompagné d'un autre moteur, fondé sur le même principe, mais perfectionné, en ce que le fer a peu de longueur et est attiré successivement par les tronçons entre lesquels la bobine a été fractionnée.

L'action se déplace ainsi de manière à être plus efficace dans les diverses parties du parcours.

6° Moteur à axe vertical : 4 bobines sont montées sur cet axe et attirent les barreaux de trois petites roues horizontales,

qui transmettent simultanément leurs mouvements de rotation à l'axe central au moyen d'engrenages (1857).

7° Enfin la grande machine à axe vertical, construite pour le Conservatoire en 1860, et qui peut être considérée aujourd'hui comme le type le plus parfait. Cinq étages de disques armés de fer doux et calés sur le même arbre vertical, sont soumis à l'action d'un certain nombre de séries d'électro-aimants dont les axes sont dirigés suivant des rayons horizontaux. Deux actions opposées s'exercent toujours simultanément de manière à éviter toute torsion de l'arbre, et les différents étages sont en retard l'un par rapport à l'autre, afin que les fers doux de l'un soient en prise pendant les interruptions des quatre autres (1854).

Le mouvement produit dans ces conditions est extrêmement régulier, et les chocs sont évités à tel point qu'une pareille machine peut sans accident tourner, en cas de besoin, à une vitesse de cinq à six cents tours par minute.

Depuis longtemps M. Froment a construit, pour les cours, des modèles de démonstration qu'il fait fonctionner par l'action de ces petits moteurs de tous systèmes : nous ne ferons que citer quelques-unes de ces applications, à une pompe fonctionnant par un engrenage de la Hire, à une pompe fonctionnant par bielle et par manivelle, à une scierie, à une cisaille et à son poinçon, à un train de laminoir, à un mouton, etc., c'est-à-dire à toute une série d'appareils mécaniques; mais nous citerons, avec plus d'attention, l'interrupteur à vibrations de 1847, qui doit être considéré comme le point de départ des interrupteurs à trembleurs des appareils d'induction et de la plupart des appareils électro-médicaux.

La description des appareils télégraphiques nous arrêtera beaucoup plus longtemps parce que nous retrouverons, à diverses reprises, notre infatigable camarade se dévouant à la réalisation des principaux perfectionnements qui lui étaient apportés et qu'il a pour ainsi dire fécondés par les dispositions pratiques qu'a entraînées cette réalisation.

L'appareil télégraphique qui attirait, parmi les modèles de M. Froment, l'attention de la foule était son carillon à 25 timbres dont les marteaux sont mis en mouvement par des électro-aimants au moyen de communications électriques établies par les touches d'un clavier en relation avec chacun d'eux.

Ce carillon est en effet l'appareil de démonstration par excellence, et il complétait, sous ce rapport, le modèle du télégraphe à clavier, qui a conservé le nom de M. Froment, et qui, conçu par lui dès 1850, se fait remarquer encore par une identité parfaite entre le transmetteur et le récepteur. La même dépêche se joue sur les deux parties principales du système, de la même façon, et elle s'y reproduit sous les yeux mêmes de l'opérateur. Le télégraphe écrivant, qui est également connu sous le nom de télégraphe Froment, fonctionne en traçant sur le papier récepteur des lignes droites formant une série de V les uns à la suite des autres, et séparés par des traits-d'union plus ou moins allongés; le nombre des alternances indique la lettre, et ces alternances sont produites par le déplacement d'un crayon au moyen d'un électro-aimant. C'est à l'occasion de ce télégraphe (1845) que Froment a combiné cet ingénieux appareil qui taille constamment le crayon à mesure que celui-ci tourne sur lui-même, et qui entretient sa pointe dans le même état.

Le télégraphe électrique de Hughes, dont l'Administration se sert aujourd'hui d'une manière générale pour les lignes de l'État, n'appartenait à l'exposition de M. Froment qu'à titre de construction sortie de ses ateliers.

On sait que ce télégraphe est fondé sur le synchronisme des opérations effectuées aux deux stations, et que cette simultanéité est obtenue à l'aide de régulateurs et d'arrêts qui font qu'après chacune d'elles les organes s'attendent jusqu'à ce que le tout soit replacé dans la disposition primitive. Dans cet appareil, le rôle de la pile est réduit à dépolariser l'électro-aimant qui retenait une armature au contact. Cette pile peut donc être très-faible; et, dans l'exposition du Conservatoire les dépêches se transmettaient, alors même que cette pile était formée d'une pièce d'un centime associée avec un flan de zinc de même dimension, et actionnée par l'interposition d'un papier mouillé.

L'intervention de M. Froment a été plus grande dans la disposition définitive du télégraphe de M. Caselli, auquel on avait donné, au Conservatoire, un emplacement spécial, dans la salle d'écho.

Ce télégraphe a déjà fonctionné sur quelques lignes de l'État, et on a pu l'employer de Paris à Marseille pour envoyer des *facsimile* de dessins, avec une seule station intermédiaire. Dans ce

magnifique instrument de transmission, le synchronisme est rigoureusement nécessaire pendant toute la période d'action; aussi est-il produit par de lourds pendules qui sont déclanchés et retenus à l'autre extrémité de leur course, sous l'influence d'organes électriques commandés par deux horloges régulatrices. Dans chacun de ces mouvements du pendule transmetteur il faut qu'un index qu'il conduit palpe tous les points d'une surface métallique sur laquelle on a dessiné avec une encre isolante. Suivant que le métal est à nu ou recouvert, un courant local passe et va agir chimiquement sur le papier dont la platine du récepteur est garnie, en marquant un trait qui sera interrompu aussitôt que, suivant les contours du dessin, le courant de ligne aura été momentanément rétabli. Après chaque ligne, le palpeur et le style se déplacent de la même quantité dans les deux stations, et le même effet se reproduit pour une ligne parallèle. L'écriture ou le dessin à transmettre se trouve ainsi représenté de la même façon que si l'on couvrait une page d'écriture de traits blancs, très-fins et très-rapprochés, qui cacheraient une partie relativement faible des lettres, et qui, au lieu de les laisser voir telles qu'elles étaient primitivement, remplaceraient la continuité des jambages par une suite de hachures très-fines.

Mais que de précision et de soins ont été nécessaires pour amener l'idée première à une satisfaisante réalité. En présence d'un tel résultat, on ne saurait vraiment dire à qui revient une plus grande part de mérite, entre le génie de celui qui a eu la hardiesse de l'idée, et la patiente recherche de l'artiste qui n'a pas reculé devant sa réalisation.

Nous terminerons ce rapide examen des appareils télégraphiques exposés par l'indication des trois instruments de MM. Digney frères. Ils sont d'une fort belle exécution et ils présentent bien nettement la physionomie d'une bonne et grande fabrication.

Ces appareils étaient, au Conservatoire, de trois sortes : le transmetteur automatique de Siemens, le télégraphe imprimeur de Digney frères et le nouveau système de MM. Desgoffe et Digney. Les propriétés caractéristiques de ces trois types sont très-différentes.

Le transmetteur automatique à types de M. Siemens fait époque dans l'histoire de la télégraphie électrique. Il n'exige pour son

fonctionnement aucune pile, les courants inverses étant successivement produits par la rotation continue d'une bobine devant les piles d'un certain nombre d'aimants permanents. La machine magnéto-électrique, ainsi constituée, marche à l'aide d'une pédale et elle est parfaitement suffisante pour toutes les exigences du service.

Deux fois par tour le courant change de sens, et il fallait utiliser ces courants contraires pour produire un même résultat : la reproduction des signes de Morse. Ces signes sont disposés à l'avance dans une sorte de composteur de $0^{m},60$ de longueur, au moyen de types en relief. Chacun de ces composteurs est muni d'une crémaillère qui, mise en mouvement par un pas de vis, monté sur l'arbre de l'armature de l'appareil magnéto-électrique, avance exactement d'une demi-dent pour chaque demi-tour, ou pour chaque inversion du courant.

Le récepteur se compose d'un appareil Morse, disposé par M. Digney de telle façon que l'armature, qui forme le prolongement du levier destiné à approcher la bande de papier du disque traceur, oscille entre les deux branches d'un électro-aimant polarisé de M. Siemens. L'armature se porte tantôt vers une des branches, tantôt vers l'autre suivant le sens du courant arrivant de la ligne, et elle reste dans sa position acquise jusqu'à ce que le courant opposé vienne la détacher et la reporter de l'autre côté. Si donc le levier a été amené dans la position nécessaire pour déterminer le traçage par un courant positif, par exemple, ce traçage se continuera quoique le courant ait pu cesser, jusqu'à l'arrivée du courant négatif qui éloigne le style du papier.

Ces alternances de direction et de suppression du courant sont précisément produites par les saillies et les creux des types placés dans le composteur: toutes les fois que l'extrémité du levier se trouve en présence d'un des vides du type, il n'y a aucun passage de courant et le levier traceur reste alors dans la position qu'il occupait. Si le dernier courant était positif, le tracé continuera et aucune marque ne se produira si le dernier courant était négatif. Au contraire, la continuation d'une saillie correspondant à la continuation de la fermeture du circuit, elle produit nécessairement une succession de courants de noms contraires qui se traduisent par une succession de points et de

blancs. L'originalité principale de ce système consiste donc en ce que chaque saillie du type, au lieu de correspondre à un trait continu, produit, au contraire, une succession de points.

Le télégraphe imprimeur de MM. Digney a déjà fait l'objet d'un rapport de M. Du Moncel à la société d'encouragement en 1858; mais il a, depuis lors, reçu divers perfectionnements de détail dont l'un a surtout pour objet d'augmenter la rapidité de son fonctionnement; à cet effet, le nombre des dents de la roue d'échappement a été réduit de 26 à 13, et les courants sont utilisés, dans les deux sens, pour déclancher et chercher la lettre.

Le récepteur imprimant peut être manœuvré à distance par plusieurs genres de manipulateurs. Le manipulateur à inversion de courant, modifié dans le même principe que le récepteur, permet d'utiliser chaque courant pour le passage d'une lettre; celui de MM. Lippens et Digney produit le même résultat par le fonctionnement des touches d'un clavier. Rien de plus curieux que cette succession de courants contraires dominés à ce point qu'ils concourent chacun au même résultat; toutes ces dispositions, des plus ingénieuses, ne tendent à rien moins qu'à remplacer, dans un très-grand nombre de cas, l'action de la pile; c'est ainsi que chaque idée nouvelle finit par trouver sa place la plus convenable sous le rapport de la simplification des procédés, de la sûreté des résultats ou de l'économie dans le prix de revient. Dans certaines circonstances, on trouvera plus commode d'obtenir les courants par une certaine dépense de travail, particulièrement lorsqu'il s'agira de petits effets à produire, d'une manière intermittente. Dans d'autres circonstances, au contraire, on se servira des courants de la pile pour obtenir, avec continuité, et surtout avec une très-grande régularité, le fonctionnement mécanique de certains outils de précision.

L'appareil de MM. Desgoffe et Digney se recommande à d'autres titres, bien qu'il n'ait pas, comme le précédent, la sanction d'un usage prolongé.

Comme le télégraphe Caselli, il est basé sur le synchronisme des mouvements opérés aux deux stations, mais cette égalité des deux mouvements n'a pas besoin d'être réalisée avec la même précision; il suffit que chaque opération ne puisse se terminer que quand les différents organes ont repris une position déter-

minée, et pour atteindre ce but les organes de la station qui seraient en avance seraient obligés d'attendre que les évolutions fussent complètes à l'autre station.

L'impression se termine ainsi de la même façon des deux côtés, et chacun des bureaux reçoit du même coup un exemplaire identique de chaque dépêche, qui n'exige l'intervention d'un employé qu'à l'une des stations seulement, pour que la simultanéité des opérations ait été assurée dans l'autre par l'appareil lui-même.

Le manipulateur offre d'ailleurs une disposition toute différente de celle de tous les autres télégraphes. Il se compose d'un plateau armé d'un double jeu de saillies circulaires, disposées en spirale et accompagnées, pour servir de repères, de lettres correspondantes, qui viennent se montrer à une fenêtre. Au lieu de disposer les signes suivant l'ordre alphabétique, les inventeurs ont cherché à diminuer la durée des manœuvres en rapprochant davantage, du point de départ, les lettres qui se présentent plus fréquemment que les autres, comme certaines voyelles, par exemple, dans la composition d'une dépêche.

Ces différences donnent, au télégraphe de MM. Desgoffe et Digney, une apparence inusitée, mais cette bizarrerie de la forme est loin d'être exclusive d'un bon fonctionnement; nous pensons, au contraire, que les nouvelles dispositions, très-heureusement combinées, sont destinées à un grand succès.

La télégraphie, cette artère nouvelle de la civilisation du dix-neuvième siècle, nous a entraîné bien loin du Conservatoire, où nous devons encore rencontrer le point de départ de quelques inventions importantes.

M. Silbermann qui, depuis bientôt trente ans, est attaché à notre établissement, et qui y est maintenant le conservateur des collections, était représenté dans l'exposition de M. Duboscq par un de ses héliostats.

Les héliostats sont, comme on le sait, des appareils destinés à diriger, par réflexion et d'une manière constante, les rayons du soleil malgré le déplacement relatif de cet astre, par rapport au miroir réfléchissant. Le problème à résoudre consiste à faire tourner le plan de réflexion du miroir autour de son axe, dans le même temps que le soleil effectue son mouvement apparent;

à cette condition, il est évident que la direction du faisceau réfléchi sera immuable.

Fahrenheit, S'gravesande, Biot, Arago, Gambey ont, tour à tour, indiqué des procédés résolvant un des points de la question; mais l'appareil le plus parfait, au point de vue scientifique, est celui de M. Silbermann. Il a résolu complétement la question; mais depuis les progrès réalisés par la photographie, les expérimentateurs, en ce genre, éprouvèrent le besoin d'utiliser un faisceau lumineux, fixe, de plus grande dimension.

M. Silbermann parvint à porter au double les dimensions primitives de la surface de son réflecteur, en même temps qu'il facilitait le réglage de l'orientation du faisceau; mais si cet appareil satisfait aux besoins des savants, il ne peut remplir aussi bien les conditions exigées aujourd'hui pour l'agrandissement des épreuves photographiques.

M. Léon Foucault a résolu ce nouveau problème en combinant, sur le même instrument, les principes de S'gravesande et de Silbermann. L'appareil se compose d'une caisse cylindrique renfermant l'horloge destinée à faire mouvoir un arbre, qui est préalablement dirigé suivant l'axe terrestre. L'arc de déclinaison, adapté à cet arbre de la même façon que dans l'appareil Silbermann, supporte une tige dont une extrémité se termine en fourchette à anneau et dont l'autre reste cylindrique; en avant de cette première partie de l'appareil se trouve le miroir cylindrique, placé sur un support bien stable, mais qui peut cependant osciller autour d'un axe de suspension; une tige cylindrique, fixée exactement au centre du miroir, peut glisser dans l'anneau de la fourchette, et le grand axe du miroir se prolonge, par une règle évidée, dans laquelle glisse un curseur. Si toutes les parties du miroir sont mobiles, on pourra, en agissant sur la tige centrale du miroir, le faire tourner autour de son centre; si, au contraire, les parties dépendant de l'horloge sont rendues fixes, ce sera le moteur qui, mettant l'arbre de couche en rotation, animera la tige à fourchette et, par suite, le miroir lui-même.

L'héliostat de M. L. Foucault a donc pour caractère essentiel de donner une direction constante à un faisceau réfléchi par un miroir à grande surface, ce que l'on n'avait pu faire jusqu'ici. M. S. Dubosq, qui comptait aussi cet appareil dans sa collection, dispose des modèles dont la surface réfléchissante ne mesure

pas moins de 1m,30 dans le sens du grand axe, sur 0m,70 dans le sens perpendiculaire; on comprend que de tels appareils sont susceptibles de rendre d'importants services pour les observations scientifiques aussi bien que pour les opérations photographiques.

L'exposition de M. Duboscq se trouvait d'ailleurs complétée par plusieurs instruments d'un grand intérêt.

Les chimistes ont appris à connaître les services que le spectroscope peut rendre à l'analyse. Le modèle horizontal à un prisme est l'instrument le plus propre à ce genre de recherches; le spectre apparaît en entier à l'œil de l'observateur, et un micromètre donne l'estimation de la position relative de chacune des raies principales. Mais quand il s'agit d'observations physiques ou astronomiques, de comparer le spectre d'un astre ou d'une lumière artificielle avec le spectre solaire, il faut obtenir l'image prismatique encore plus élargie; alors on l'observe partiellement, en amenant successivement ses différentes couleurs dans le champ de l'oculaire; c'est pour atteindre ce résultat que M. S. Duboscq a construit son bel appareil à six prismes. Le spectre est vu dans sa plus grande netteté; et, ce qui serait impossible avec un instrument d'ordre secondaire, la raie D est rigoureusement dédoublée. Rappelons que M. Blüker a pu, à l'aide d'un appareil de ce genre, étudier les spectres des étincelles d'induction qui éclatent entre des tiges métalliques; les principales raies lui apparaissaient avec une précision extraordinaire. Il existe donc, entre le spectroscope à un prisme et celui à pouvoir réfrangible *exalté*, la même relation qu'entre le *chercheur* d'un télescope, et le télescope lui-même : celui-ci observe en détail ce que l'autre permet seulement de trouver.

Les observations spectroscopiques se font en irradiant la substance dans la flamme obscure d'un bec de gaz, système Bunsen; les chimistes et les physiciens connaissent assez cet appareil pour que nous passions outre. Dans le cas où une plus haute température est nécessaire, on recourra à un foyer à deux branches, chargées respectivement d'amener le gaz d'éclairage et l'oxygène au lieu d'air atmosphérique. Cette organisation est identique à celle du chalumeau à lumière oxy-hydrogène.

Nous avons vu que l'éclairage électrique du Conservatoire était produit avec les modèles de *régulateurs* les plus nouveaux. Dans

l'exposition de M. S. Duboscq, on remarquait le nouveau modèle de M. Léon Foucault.

M. S. Duboscq a réussi à appliquer la méthode de projection aux phénomènes de double réfraction et de polarisation. Cela était difficile, car ces phénomènes, d'une très-grande délicatesse, ont besoin d'une extrême netteté.

L'appareil de M. S. Duboscq a donc pour objet de rendre visibles, pour un nombreux auditoire, ces phénomènes dont chacun exigeait une disposition spéciale et ne pouvait être observé qu'individuellement. C'est ainsi qu'il permet de projeter, sur un écran, les deux rayons émergeant du spath, les images à couleurs complémentaires d'Arago, les quatre images d'Huyghens et toute la série d'effets, si curieux, produits par le passage de la lumière polarisée à travers les cristaux à un et à deux axes.

Nous ne terminerons pas cette énumération des objets apportés par M. Duboscq, sans remercier cet habile constructeur de tous les soins qu'il a bien voulu donner, pour la soirée du 29 octobre, à la production de notre arc-en-ciel et aux expériences de M. Lissajous à l'amphithéâtre.

Tous les visiteurs cherchaient partout M. Ruhmkorf, l'heureux lauréat du concours relatif aux applications de la pile de Volta; mais M. Ruhmkorf cherchait, de son côté, à éviter toute ovation de la foule, et il se tenait d'autant plus à l'écart qu'il était davantage recherché. D'ailleurs, il prêtait à l'amphithéâtre son concours aux expériences que l'on y faisait avec l'appareil de M. de La Rive, et M. Ruhmkorf sait toujours s'oublier quand il peut être utile aux autres. Toute la carrière industrielle de ce constructeur est résumée dans ce trait. Ouvrier habile, il a pendant longtemps aidé à la fortune des constructeurs qui l'employaient en sous-ordre; devenu patron à son tour, il a toujours apporté tant de soins à ses constructions qu'il n'a jamais osé demander un salaire rémunérateur. Voilà donc un prix qui est allé rencontrer un homme de cœur et de talent; l'État a payé la dette bien involontaire de tous les physiciens, pour lesquels M. Ruhmkorf travaille depuis quarante ans.

Nous n'avons obtenu, non plus que le public, de la modestie de M. Ruhmkorf, aucune explication sur les instruments qui composaient son exposition; nous nous bornerons donc à indiquer d'une manière générale leur objet, sans pouvoir accompa-

gner cette indication d'aucun détail sur le mérite spécial de tel ou tel appareil.

La fameuse bobine (celle du Conservatoire contient cent mille mètres de fil isolé) était entourée de petites bobinettes d'induction pour tous usages. Il serait temps que M. Ruhmkorf exploitât cette fabrication qu'il a créée et qu'il abandonne un peu trop à ses concurrents.

Les autres appareils renferment plusieurs applications de cet appareil principal. Tels étaient, par exemple, les différents systèmes d'interrupteurs, pour la bobine d'induction, et l'appareil électro-balistique de notre camarade Martin de Brettes, qui a eu le mérite d'appliquer l'étincelle d'induction à la disposition originale de Navez.

L'appareil de M. Foucault, pour la manifestation de la chaleur par induction, était présenté, par M. Ruhmkorf, sous une nouvelle forme. Un électro-aimant agit sur une armature en fer doux, en forme de fer à cheval, et disposé de manière que l'on puisse faire tourner, à très-petite distance, une fiole en cuivre, dont le bouchon est lancé au dehors par suite de la force élastique de la vapeur de l'éther, contenu dans la fiole, sous l'action de la chaleur produite. La résistance que l'on rencontre à faire tourner la manivelle est vraiment très-remarquable.

La boussole de Weber, construite en 1859, est un instrument destiné à mesurer l'intensité des moindres courants par la direction d'un barreau que l'on observe au moyen d'une lunette redressant l'image d'une règle divisée.

Nous citerons encore l'appareil de M. Edmond Becquerel pour étudier l'action du magnétisme sur les solides et sur les liquides; mais le plus bel instrument de cette collection précieuse est sans contredit le thermomètre électrique de M. Becquerel père (1858). Ce thermomètre agit, par différence de température, sur un galvanomètre, par l'intermédiaire de pinces métalliques, cuivre et argent, l'une des sources pouvant être maintenue à température constante au moyen de l'évaporation produite par un soufflet sur un réservoir rempli d'alcool.

Si M. Ruhmkorf a mérité le prix de 50 000 fr. pour la seule bobine, quelle récompense lui est réservée pour les autres services rendus?

M. Alvergnat est l'habile souffleur qui commence à se faire

connaître après avoir exécuté, pour les constructeurs plus en renom, ces beaux tubes dans lesquels le passage d'un courant d'induction détermine des colorations variées, suivant la nature du verre, et celle des gaz qu'on y renferme sous de très-petites pressions.

Dans les quatre spécimens qu'il avait apportés au Conservatoire, M. Alvergnat s'était proposé de montrer les plus beaux effets, tout en ne reculant devant aucune des difficultés de l'art du souffleur.

L'exécution des boules formées de la réunion de deux hémisphères soudés ensemble, après introduction d'un tube en spirale, celle des boules concentriques soufflées les unes dans les autres, et disposées cependant de manière que le vide puisse y être fait simultanément, enfin, le remplissage des diverses parties de ces capacités avec des gaz différents sont toutes des opérations d'une délicatesse extrême, et elles ont été réussies par M. Alvergnat de la manière la plus remarquable.

L'éclat de ses colorations a trop souvent détourné l'attention des visiteurs de la machine pneumatique toute en verre, qui est devenue, entre les mains de ce constructeur, le principal instrument de sa fabrication, et qui doit être, pour les chimistes, un auxiliaire indispensable de leurs laboratoires.

Le principe de l'appareil n'est pas nouveau, puisqu'il emploie le vide barométrique; l'application même n'est pas nouvelle, puisque l'air du récipient dans lequel on veut faire le vide est expulsé successivement en mettant, à plusieurs reprises, ce récipient en communication avec le vide barométrique de l'appareil. Mais M. Alvergnat a su tirer de ce principe un très-excellent parti, et l'emploi exclusif du verre et du cristal pour ses tubes, ses boules et ses robinets, lui permet d'établir pour 150 fr. une véritable machine pneumatique, pouvant abaisser la pression jusqu'à un demi-millimètre de mercure et au-dessous. L'emploi de ces matières assure d'ailleurs la facilité du nettoyage, par un simple lavage à l'acide, de toutes les parties sur lesquelles il s'est déposé de l'oxyde de mercure.

Une fermeture à triple robinet permet d'ouvrir et de fermer à volonté les communications avec une sécurité telle que le vide se maintient pendant plusieurs mois, sans différence sensible, dans l'appareil. Cette précision était nécessaire pour que l'on

pût faire passer des gaz de diverses natures dans les tubes préalablement privés d'air, en un mot pour charger les tubes de Geissler, qui forment la principale branche de l'industrie de M. Alvergnat.

Les instruments de M. Hardy ont un objet tout différent, mais ils sont dignes, au point de vue de l'exécution, d'une mention toute spéciale.

Au premier rang de ces appareils, le chronographe universel de M. Martin de Brettes et le chronographe commandé pour la détermination des longitudes dans l'Inde.

Le premier de ces instruments diffère du premier appareil du même auteur en ce que le mouvement du style est continu et commandé par un pendule conique monté sur pointe. Ce pendule fait un tour en deux tiers de seconde et la pointe fait deux révolutions par seconde autour d'un cylindre dont la circonférence est exactement d'un mètre. Le contact est assuré, au moyen d'un ressort, contre tous les écarts que pourrait produire l'action de la force centrifuge.

Le cylindre, dont l'axe est vertical, peut descendre d'une manière continue ou seulement au moyen de transmissions électriques à la volonté de l'observateur. La régularité de la marche de l'aiguille peut être vérifiée au moyen d'un pendule électrique en désaccord avec le pendule de l'appareil. Les points marqués doivent alors se trouver sur une même hélice, et c'est ce que fait fait voir l'expérience avec une extrême précision.

Dans le chronographe à cylindre horizontal pour l'observation des longitudes, le mouvement du cylindre et celui du chariot sont conduits par une horloge, munie du régulateur à contrepoids de M. Foucault, mais toute cette partie de l'appareil a été construite par M. Secretan.

Ce chronographe comporte trois aiguilles : l'une d'elles est chargée de marquer les temps, une autre indique les passages, au moyen d'une touche placée sous la main de l'observateur, la troisième trace seulement une hélice de séparation entre les marques des deux premières.

Le chariot tout entier se relève d'ailleurs autour d'une charnière pour la facilité des observations.

Élève de M. Froment, M. Hardy a voulu avoir aussi son micrographe, et il vous adressera, quand vous voudrez, sa carte

de visite, sur verre, que vous ne pourrez pas lire, même avec une loupe. Cette réduction de l'écriture ordinaire se fait d'ailleurs, à la pointe de diamant, par une transmission fort originale : deux tiges longues et presque verticales sont suspendues, sur joints de Cardan, et réunies à leur partie supérieure par une lame de ressort. Le petit levier de la tige motrice agit sur le grand levier de la tige conduite ; à l'extrémité inférieure de la première tige se trouve le style destiné à suivre l'écriture ; à l'extrémité inférieure de la seconde, le diamant chargé de la réduction, et que l'on peut d'ailleurs relever, de la main gauche, au moyen d'une came.

M. Hardy avait aussi apporté son contrôleur des signaux de chemin de fer. Deux thermomètres métalliques, dont l'un a une très-petite masse, sont disposés de façon à être à la fois affectés par la température de la lanterne dans laquelle ils sont disposés. L'action du petit thermomètre étant très-rapide, le contact est amené ou détruit en moins de 15 secondes lors de l'allumage ou de l'extinction accidentelle. Cette rapidité d'action pourra sans doute donner une certaine confiance dans ces appareils trop délaissés.

Quant à l'anémomètre à compteur électrique de M. le général Morin, qui est également construit par M. Hardy, en voici la description sommaire :

Il se compose d'un arbre sur lequel sont montées un certain nombre d'ailettes. Cet arbre pénètre dans une petite boîte de forme conique qui contient deux pignons et deux engrenages. Une de ces roues, qui ne fait qu'un tour pendant que l'arbre principal en fait cent, est munie d'une goupille en platine qui vient rencontrer un ressort en communication avec un des pôles de la pile.

Le circuit électrique étant ainsi fermé toutes les fois que l'anémomètre a tourné de 100 tours, l'armature d'un électro-aimant est attirée et met en mouvement une série de roues d'engrenages et de pignons, par l'intermédiaire d'un levier, d'un cliquet et d'une roue à rochet.

Cet ensemble constitue l'anémomètre à compteur électrique.

Ce compteur peut être disposé de manière à compter lorsque l'anémomètre tourne dans un sens, et à décompter lorsqu'il tourne en sens contraire. Cette disposition nécessite l'emploi de

deux électro-aimants qui agissent sur la même roue, l'un pour compter dans un sens, l'autre pour faire tourner cette roue en sens inverse.

Il faut, de plus, que l'anémomètre soit muni de deux contacts pouvant se disposer, l'un par rapport à l'autre, de façon que l'un des deux agisse lorsque l'anémomètre tourne dans un sens et que l'autre se trouve en prise lorsque l'instrument tourne en sens inverse. On obtient, à l'aide de ces dispositions, des anémomètres beaucoup plus sensibles, les rouages du compteur n'étant plus mis en mouvement par l'anémomètre lui-même.

Ces instruments présentent, en outre, l'avantage de pouvoir placer le compteur à une distance très-grande des appareils de ventilation et de pouvoir ainsi centraliser le service de surveillance lorsque plusieurs de ces appareils sont placés dans le même établissement et sur différents appareils de ventilation. La réunion de l'anémomètre à son compteur peut se réaliser au moyen d'un fil de ligne et d'un fil de terre comme dans tous les appareils télégraphiques.

Tout à côté des appareils de M. Hardy se trouvait le barométrographe d'un autre constructeur, M. Morin, qui a été depuis notre séance présenté à l'Académie des sciences, par M. Babinet. Cet appareil se compose d'un baromètre à syphon dont toutes les variations sont reportées sur la branche ouverte, de dimension relativement réduite. A chaque quart d'heure, un barreau de fer, prolongé par une pointe en platine, est déclanché par une horloge et arrêté dans sa chute par un électro-aimant qui fonctionne au moment même où la pointe en platine vient au contact de la surface du mercure. A ce même instant, un marteau frappe sur une pointe chargée de piquer un papier quadrillé, enroulé sur un cylindre, dont le mouvement en 24 heures est assuré par l'horloge dont il a été déjà question.

Nous avons sous les yeux la feuille d'observation du 23 au 24 octobre ; elle porte quatre-vingt-seize points très-nettement et très-régulièrement disposés.

M. Nachet n'avait apporté que quelques instruments de sa spécialité, celle des microscopes; mais ces instruments sont d'une extrême perfection. Plus abordables que les instruments anglais, sous le rapport du prix, ils ne leur cèdent en rien quant

à la netteté des images, et ils leur sont certainement supérieurs comme dispositions de détail.

On sait que M. Nachet père a établi dès 1853 le premier microscope binoculaire, et que cette idée réalisée, sous une autre forme, l'année suivante, par M. Wenham, a étendu le domaine du microscope jusqu'à permettre d'étudier, non-seulement les détails de la surface des objets microscopiques, mais encore de les voir en relief et jusqu'à une certaine profondeur, lorsqu'ils sont très-transparents.

M. Nachet peut aujourd'hui, par une disposition spéciale, adapter un second corps à tout microscope, de manière à faire varier à volonté l'écartement des deux oculaires. Il transforme ainsi tout instrument en microscope stéréoscopique, sans modifier ses qualités premières, comme microscope à un seul corps.

Parmi les observations de M. Nachet, relatives à la construction des microscopes, il y en a qui sont vraiment curieuses et importantes sous le rapport des perfectionnements réservés à l'avenir.

On sait que, dans les instruments binoculaires, les rayons sont déviés par réflexion, au moyen de prismes convenablement disposés; il en est de même dans les instruments simples, additionnés d'un nouveau corps. Les rayons émanant du même objet forment aussi deux images qui correspondent aux deux yeux de l'observateur, et M. Nachet a observé que, quand ces rayons arrivent respectivement aux deux yeux sans se croiser, les reliefs de l'objet apparaissent dans leurs formes relatives, tandis que si, par suite du déplacement de la face réfléchissante du prisme interposé, les rayons arrivent aux yeux dans une direction inverse, ou en d'autres termes s'ils se croisent dans leur trajet, les reliefs se changent en creux et réciproquement.

Le fait est très-nettement accusé par un petit déplacement imprimé au prisme : il aura sans doute sa sanction théorique lorsque les physiciens voudront le rattacher à la théorie de la vision.

Nous devons mentionner particulièrement un cône renversé que M. Nachet emploie pour éclairer les préparations opaques; les rayons renvoyés par le miroir inférieur se réfractent dans le cône et émergent par la base de ce cône, de manière à se réunir

en un véritable foyer très-rapproché, sur l'objet lui-même. L'effet de ce petit organe est excellent.

Le microscope est plus en honneur chez nos voisins que chez nous; aussi se procure-t-on plus facilement de belles collections d'objets préparés pour les observations. M. Bourgogne cependant est, surtout pour les objets transparents, l'artiste par excellence et rien ne pourrait mieux le faire valoir que les instruments que M. Nachet avait apportés au Conservatoire.

Nous ajouterons en terminant que nous avions fait, à la dernière exposition de Londres, l'acquisition pour le Conservatoire d'un magnifique microscope binoculaire, sortant des ateliers de MM. Smith, Beck et Beck. Nous l'avons comparé récemment avec l'un des instruments de M. Nachet, et nous avons dû déclarer en sa présence que les deux instruments étaient également remarquables.

M. Kœnig nous fait assister à des faits d'un tout autre ordre. Comme M. Nachet, il a une spécialité parmi les constructeurs, et cette spécialité ne consiste que dans les phénomènes d'acoustique. Et cependant, quelle variété dans les appareils qui constituent, dans plusieurs cas, de véritables méthodes d'observation, appliquées à des faits dans lesquels le microscope serait impuissant, et que l'habile constructeur est parvenu à faire voir d'une manière distincte!

Nous passerons en revue les différents appareils exposés par M. Kœnig, avant de jeter les yeux sur l'album où sont consignés les principaux résultats de son étude graphique des sons.

Quelques-uns de ces appareils constituent aussi une méthode, d'autant plus originale qu'elle s'applique à des faits d'une constatation difficile, c'est-à-dire aux divers mouvements d'une colonne d'air en vibration.

Le tuyau dans lequel doit vibrer la colonne que l'on veut étudier est, en divers points, remplacé par une petite membrane qui doit épouser les vibrations de l'air avec lequel elle est en contact, et qui constitue ainsi une sorte d'oreille artificielle qu'il ne s'agit plus que d'interroger. A cet effet, cette membrane est contenue dans une petite poche où arrive librement du gaz d'éclairage, qui sort par un petit bec qu'on allume. Si la membrane refoule le gaz, la flamme augmente; elle diminue ou même elle s'éteint si le mouvement de la membrane a lieu en sens contraire.

Dans les deux cas, les variations de la flamme indiquent les phases du mouvement de l'air dans la colonne, et si deux de ces becs analyseurs sont respectivement placés en des points qui deviennent successivement des nœuds et des centres de vibration, on les voit successivement augmenter ou diminuer d'intensité.

En variant le nombre des becs et leurs dispositions, en variant aussi les circonstances que l'on veut étudier, on conçoit que l'on puisse suivre, à simple vue, les phénomènes souvent très-complexes et encore inaperçus des tuyaux d'orgue.

M. Kœnig applique en outre les mêmes principes dans des appareils dits d'interférence, et, pour l'étude des timbres, il se sert du résonnateur de Helmholtz.

Dans certains cas, il fait tourner devant les flammes, pendant leurs variations, un miroir ou plutôt une série de miroirs qui ont pour effet d'établir la comparaison plus immédiate entre les effets successivement produits.

M. Kœnig avait aussi exposé l'appareil de M. Melde pour la démonstration des vibrations dans les fils tendus par deux diapasons accordés de deux différentes manières. La collection de ses plaques vibrantes, disposées pour produire des sons bien déterminés lorsqu'on les actionne, dans différents sens, par un archet, est tout à fait remarquable, et ces plaques permettent d'obtenir les tracés réguliers auxquels on n'arrivait encore que par les combinaisons de diapasons.

Nous venons de parcourir le magnifique album de M. Kœnig, que l'on peut considérer comme le monument le plus considérable de l'acoustique et le prélude des nouvelles expériences qui ont, depuis lors, permis à cet habile expérimentateur de porter directement ses investigations jusque sur les mouvements des colonnes d'air en vibration.

Nous ne pouvons résister au désir de donner un aperçu rapide des chapitres de cet album : les tracés sur disques de verre, tels que les produisait Wertheim dans ses premières expériences, n'y sont nullement représentés.

Voici d'abord son titre : Épreuves de la fixation graphique des mouvements vibratoires sonores, d'après la méthode de Young, Savart, Wertheim, M. Duhamel, M. Lissajous, M. Desains, M. Scott,

et obtenues par Rudolph Kœnig, constructeur d'instruments d'acoustique à Paris.

I. Détermination des nombres de vibrations par la méthode graphique et usage d'un diapason étalonné comme chronoscope, d'après Wertheim.

Ce sont des tracés obtenus sur un cylindre par un diapason traceur.

II. Combinaison de deux mouvements vibratoires parallèles, exécutés par deux corps, d'après MM. Lissajous et Desains.

Un diapason se déplace parallèlement à un diapason fixe et trace sur ce dernier la courbe qui résulte de la simultanéité des deux systèmes de vibrations.

III. Combinaison de deux ou de plusieurs mouvements vibratoires parallèles, exécutés par le même corps.

Ce chapitre rend compte des sons harmoniques donnés par la même corde qui produit le son fondamental.

IV. Combinaison de deux mouvements vibratoires rectangulaires, exécutés par deux corps.

Un diapason qui se déplace perpendiculairement á un autre diapason écrit, sur ce dernier, la combinaison des deux systèmes de vibrations.

V. Combinaison de deux mouvements rectangulaires exécutés par un même corps.

Ces expériences ont été exécutées avec les verges de M. Wheatstone.

Les tracés produits offrent des nappes irrégulières, mais dont les irrégularités mêmes se reproduisent les unes à côté des autres avec une étonnante perfection.

VI. Communication de mouvements vibratoires. — Vibration par influence.

Figures obtenues par la communication des vibrations d'une corde à une autre corde ou d'un diapason à un autre diapason.

C'est également dans ce même chapitre que l'on trouve les tracés obtenus à l'aide du phonautographe de M. Scott, par l'inscription des mouvements d'une membrane mise en vibration par influence, et que l'on reconnaît, par ces tracés, l'identité des courbes obtenues par un diapason qui écrit, soit sur un autre diapason, soit par l'intermédiaire de la membrane.

De nombreuses figures sont obtenues en faisant vibrer la membrane sous l'influence de tuyaux d'orgues variés.

VII. Mouvements vibratoires des organes de l'ouïe.

Les figures sont dessinées par un style, placé sur le *marteau* ou sur l'*enclume*, pour apprécier les vibrations transmises à la membrane du tympan par des diapasons ou des tuyaux d'orgues renforcés par un globe de M. Helmholtz. (Expériences de M. Politzer.)

Toutes ces recherches de l'exposition de M. Kœnig ne pouvaient se voir que par un petit nombre de personnes : il fallait en quelque sorte les chercher. Il n'en était pas de même des belles expériences de M. Lissajous, qui, annoncées à l'avance, étaient évidemment attendues par les spectateurs empressés, qui avaient trouvé, de bonne heure, une place dans le grand amphithéâtre du Conservatoire.

Voici, d'après l'éloquent professeur lui-même, un aperçu sommaire des moyens qu'il a employés pour l'étude optique des sons.

Ces moyens sont applicables, d'une façon générale, à toute espèce d'appareil sonore. Cependant, il y a avantage pour la démonstration à opérer avec des diapasons.

Les diapasons dont on se sert à cet effet sont armés de miroirs. Chacun d'eux porte un miroir placé à l'extrémité d'une des branches. La surface du miroir est perpendiculaire à la longueur de la branche elle-même. L'autre branche porte un contre-poids égal, condition nécessaire pour que la vibration du diapason soit durable.

On peut, à l'aide de cet appareil, démontrer la cause de la production des sons. A cet effet, on fixe un diapason armé de miroir sur un support, de façon que le miroir soit vertical, ainsi que le plan qui contient les deux branches.

On fait tomber sur ce miroir un faisceau horizontal de lumière venant d'une lampe électrique; ce faisceau se réfléchit sur le miroir ; de là on le fait tomber sur un miroir fixe qui le renvoie sur un écran blanchi. Une lentille interposée concentre les rayons, de façon à projeter, sur l'écran, une image brillante de l'ouverture qui leur a donné issue.

Cette image a l'apparence d'un petit cercle lumineux. Tout mouvement donné à l'un des deux miroirs se traduit par un dé-

placement correspondant de l'image. Vient-on à faire sonner le diapason, l'image se convertit en une ligne lumineuse allongée. Ce résultat ne peut s'expliquer qu'en admettant que l'image se déplace et oscille rapidement d'une extrémité à l'autre de cette ligne. Si la ligne est illuminée dans toute son étendue à la fois, c'est que, par suite de la persistance de la sensation visuelle, nous voyons le disque à la fois dans toutes les positions qu'il occupe successivement. Pour le vérifier, faisons tourner le deuxième miroir autour d'un axe vertical, et alors la pointe du faisceau, au lieu d'osciller au même point de l'écran, oscillera successivement en des points différents, et tracera ainsi une ligne sinueuse dont l'œil apercevra toutes les ondulations illuminées simultanément.

Pour comparer optiquement les sons, on opère avec des diapasons armés de miroirs. Ces diapasons rendent des sons ayant entre eux des rapports musicaux déterminés. Le cas le plus simple est celui où le rapport ou intervalle musical des deux sons est l'unisson. Dans ce cas, les deux diapasons donnent le même nombre de vibrations par seconde.

On place le premier de façon que le plan des branches soit vertical, le second de façon que le plan des branches soit horizontal. Les miroirs, verticaux tous deux, sont mis en regard. Le faisceau de lumière tombe sur le premier miroir qui le renvoie vers le second, et de là il est renvoyé vers l'écran.

Si on fait vibrer le diapason horizontal, l'oscillation de l'image se fait suivant une ligne horizontale qui paraît illuminée dans toute son étendue. Si on fait vibrer le diapason vertical, on obtient une ligne verticale. Quand on fait vibrer les deux diapasons à la fois, le mouvement horizontal et le mouvement vertical de l'image se *composent* et donnent une courbe lumineuse qui est une ellipse, une ligne droite ou un cercle.

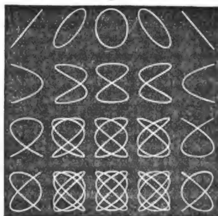
Si l'accord du diapason est irréprochable, la courbe conserve sa forme pendant toute la durée de la vibration et se rétrécit seulement au fur et à mesure que les vibrations s'éteignent.

Si l'accord est imparfait, la figure se transforme progressivement en passant par toutes les formes différentes qu'elle peut affecter. Cette transformation est longue si le désaccord est faible, rapide si le désaccord est exagéré.

Si on substitue, aux diapasons de l'expérience précédente, deux

autres diapasons présentant entre eux un intervalle musical différent, on obtient, dans chaque cas, une série de figures dont la forme dépend de l'intervalle musical que l'on étudie. La figure obtenue est fixe si les diapasons sont d'accord, elle se transforme avec plus ou moins de rapidité si leur accord est altéré.

Le tableau ci-joint donne les séries de figures correspondant aux principaux intervalles musicaux : unisson, octave, quinte et quarte.



Les figures, ainsi produites par la projection des rayons lumineux, peuvent aussi être obtenues par des combinaisons mécaniques de transmission de mouvement. C'est ce qu'a réalisé M. Froment sur les indications de M. Lissajous, et les figures que nous reproduisons sont même celles qui ont été obtenues avec la machine. Ce sont celles-là aussi qui ont été projetées sur l'écran à côté de celles qui étaient, en même temps, le résultat de la combinaison des diapasons.

Ces figures, quelquefois bizarres et cependant géométriques, agrandies jusqu'à atteindre chacune un mètre dans sa plus grande dimension, étaient magnifiquement obtenues par l'appareil de projection de M. Duboscq.

L'amphithéâtre, qui contenait cependant huit cents personnes,

avait été trop petit, et nous devons personnellement remercier M. Lissajous d'avoir bien voulu céder à nos instances en consentant à renouveler une seconde fois ces belles expériences devant un nouveau public qui désirait n'en pas être privé.

Pour faire suite à eette étude optique des vibrations sonores, M. Saint-Edme, ainsi que nous l'avons déjà dit, s'était chargé de reproduire les phénomènes de vibrations lumineuses que l'on appelle phénomènes de phosphorescence, et M. Ruhmkorf faisait fonctionner l'appareil à aurore boréale de M. de La Rive.

L'appareil qui a figuré dans la soirée du Conservatoire sort des ateliers établis à Genève, sous la direction de M. le professeur Thury. Il se compose de deux cloches en verre, disposées horizontalement en regard des deux extrémités de l'armature d'un gros électro-aimant qui occupe le centre de l'appareil.

Chacun des globes est terminé par une garniture en cuivre qui permet d'y faire le vide, ou après le vide fait, d'y introduire, sous une très-faible tension, certains gaz ou certaines vapeurs qui donnent à la lumière du courant d'induction une nuance ou un éclat particulier.

Lorsqu'on met les deux fils de la bobine d'induction en communication avec les garnitures des deux cloches la lumière, s'élance, en conservant une position constante, entre le circuit métallique qui contient chaque cloche et l'armature de l'électro-aimant, si d'ailleurs on suppose que le courant spécial destiné à cet électro-aimant est interrompu. Quant au contraire on établit ce courant, dans un sens ou dans l'autre, le faisceau lumineux se déplace dans chacun des deux globes, et il y prend deux rotations en sens contraires, reproduisant ainsi, dans un même appareil, les aspects simultanés d'une aurore boréale et d'une aurore australe, par rapport au globe central qui contient l'électro-aimant, et qui représenterait le globe terrestre.

La longueur comprise entre les sommets des deux cloches atteignant près d'un mètre, et les phénomènes de rotation étant d'ailleurs très-marqués, on peut dire que cet appareil de M. de La Rive réalise, sur une grande échelle et avec l'éclat le plus remarquable, un des plus beaux phénomènes naturels, auquel d'ailleurs l'illustre physicien de Genève a su donner sa véritable signification. Il complète, pour les yeux, la démonstration déjà indiquée par le raisonnement.

Pendant que ces expériences de lumière et d'acoustique se faisaient dans la grande salle, une autre application musicale se préparait dans le petit amphithéâtre.

On y avait disposé un clavecin bien authentique de 1752, récemment restauré et rétabli dans son état primitif par M. Henri Enjalric.

Ce clavecin peut être, avec raison, considéré comme un des instruments les plus complets qui aient été faits en ce genre. Il se compose de deux claviers qui font, à volonté, parler une, deux ou trois cordes. Le grand clavier de cet instrument est remarquable par un système d'échappement analogue à celui qu'on emploie généralement aujourd'hui pour les pianos, sous le nom d'échappement Petzold. Au moyen d'une pédale on peut au besoin faire mouvoir les deux claviers ensemble ou, à la volonté de l'exécutant, supprimer le petit ou le grand clavier.

Il y a quatre jeux différents, qui sont : le grand jeu de buffles, le grand jeu de plumes, le jeu d'octave, et enfin le jeu du petit clavier. Ces trois derniers jeux sont garnis de plumes. Chacun de ces jeux se compose de soixante et un sautereaux.

Le sautereau est une tige de bois mince de 10 à 12 centimètres environ de long, sur 15 millimètres de large, et 4 millim. d'épaisseur. Cette pièce est placée verticalement, à côté des cordes, dans une rainure nommée peigne, où elle peut couler librement. La touche du clavier soulève le sautereau; dans ce mouvement un morceau de plume, fixé transversalement à une petite languette mobile, adaptée par un pivot à la partie supérieure du sautereau, s'appuie contre la corde et la pince en s'échappant comme le ferait un ressort; un mouvement de bascule, en portant la plume en arrière, permet alors au sautereau de retomber à sa place. Aussitôt, un petit ressort, fait avec une soie de sanglier, repousse la languette dans sa position première, la plume par ce second mouvement de la languette se trouve placée au-dessous de la corde et est toute prête à la pincer de nouveau lorsqu'on appuiera sur la touche.

Ce clavecin est à grand *ravalement*, ce qui porte l'étendue des claviers à cinq octaves ou soixante et une touches. Il y a quatre pédales destinées à produire différents effets harmoniques. On peut aussi, au moyen de deux petits registres qui se trouvent placés près des cordes, obtenir soit la suppression du petit jeu,

soit une espèce de sourdine donnant, au grand jeu des plumes, une douceur particulière.

Le meuble est de l'époque de Louis XV , en acajou incrusté. L'entourage des claviers est remarquable par une découpure imitant à s'y méprendre différents sujets de peinture. La plaque qui se trouve sous les cordes porte les initiales M. R. Ce serait une erreur de croire que ce clavecin est de Ruckers d'Anvers.

Ruckers (Hans) était un simple menuisier, qui fut surnommé le père du clavecin, à cause des perfectionnements qu'il introduisit dans la construction de ces instruments; et sa plus grande amélioration, vers la fin du seizième siècle, fut de porter à quatre octaves l'étendue du clavier qui, jusque-là, n'avait eu que trois octaves ou trois octaves et demie.

Un siècle plus tard, un nommé Blanchet ajouta quatre notes à l'aigu et quatre notes au grave; quelque temps après, il inventa des clavecins à grand *ravalement*, ce qui porta l'étendue du clavier à cinq octaves, comme dans celui dont nous nous occupons.

En 1768, Pascal Tashin perfectionna ces instruments en améliorant le jeu de buffles, que Marius Richard de Paris avait, vers le milieu du dix-huitième siècle, commencé à introduire dans la construction des clavecins; ce qui prouve même, d'après certaines imperfections que l'on remarque dans le clavecin de 1752, qu'on doit être porté à l'attribuer à M. Richard. Quant au nom de Boruins M, qui se trouve sur l'une des notes, ce doit être celui d'un ancien réparateur de l'instrument; le même nom a déjà été trouvé par M. Henri dans un autre clavecin, qui était évidemment de Richard.

Nous avons décrit l'instrument, qui diffère beaucoup, comme on le voit, de notre piano actuel; mais il fallait le faire jouer, et la musique plus savante et plus compliquée d'aujourd'hui ne pouvait s'interpréter sur un instrument aussi ancien. Madame Casimir de Paul, qui a tant contribué à remettre à la mode le clavecin et la musique simple du dix-huitième siècle, a bien voulu se charger de faire valoir sur le vieil instrument quelques airs des Couperin, des Lully et des Rameau. Nous lui devons des remercîments tout particuliers pour s'être exposée, en faveur d'une bonne cause qu'elle plaide si bien, aux inconvénients d'un instrument qui avait dormi pendant plus d'un siècle et qui n'était pas encore fait à sa résurrection

Telle a été la fête, toute d'intelligence, par laquelle le directeur et les professeurs du Conservatoire ont voulu saluer la bienvenue de l'Association pour l'avancement des sciences physiques. Nous croirons aussi lui avoir payé notre tribut personnel s'il nous a été donné de faire comprendre quelques-unes des merveilles que nous avons passées en revue et que nous devions à la bienveillante sympathie des principaux constructeurs pour le Conservatoire.

H. T.

THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

(V[e] ARTICLE.)

TRAVAUX DE R. MAYER

Tr duction annotée de « *Notes of Scientific History* » de M. TYNDALL
(*Philosophical Magazine*, juillet 1864)

PAR M. CH. LABOULAYE.

I

1. — Bien que la théorie mécanique de la chaleur soit à peine fondée, des esprits peu bienveillants ont successivement établi pour chacun des savants qui l'ont formulée qu'il n'avait rien fait d'important, et suivant une malheureuse tendance de notre époque, qu'il n'y avait pas de reconnaissance à avoir à personne, surtout à un contemporain, pour une découverte qui ne s'est pas pourtant faite toute seule. D'après une formule connue, et que l'on cherche à appliquer de nos jours à l'invention industrielle, la découverte était, dit-on, dans l'air; on oublie toujours que cet *air*, dont sortent les grands progrès, est le receptable de toutes les idées écloses grâce aux efforts, aux labeurs des hommes de génie, des précurseurs connus ou inconnus de la vérité.

Dans un récent travail, M. Tyndall a revendiqué avec énergie les droits du docteur R. Mayer d'Heilbronn, qui en énonçant le premier avec une grande netteté le principe d'Équivalence du travail mécanique et de la chaleur, en cherchant à calculer la valeur de l'Équivalent mécanique, a fourni une base solide au nouvel édifice, en s'élevant à une notion que n'avaient vue nettement ni Rumford, ni Carnot, ni Clapeyron, ni aucun des savants

dont les travaux antérieurs ont fourni de précieuses assises. Les mémoires qu'il a publiés constituent le point de départ d'un grand progrès scientifique dont l'importance grandit chaque jour, et il ne sera bientôt plus permis de ne pas les connaître. C'est ce qui a décidé les éditeurs du *Philosophical Magazine* à en publier une traduction anglaise, et c'est le même motif qui nous fait penser qu'il serait également utile de les mettre sous les yeux des savants français. Pour le prouver, nous chercherons à en donner une idée exacte en traduisant (avec quelques observations), le travail publié récemment par M. Tyndall (*Philosophical Magazine*, juillet 1864. — *Notes of scientific history*), dans lequel il reproduit les parties les plus saillantes du second des mémoires de R. Mayer, en rappelant le contenu des autres. Je donnerai ici les titres de ces mémoires.

Bemerkungen über die Kraeft der unbelebten natur ; Remarques sur les forces de la nature inanimée. *Liebig's Annalen*, 1842, vol. 42, p. 231 ; — *Die organische Bewergung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel ;* le mouvement organique dans ses dépendances du changement de matière. Heilbronn, 1845; *Beitræge zur Dynamick des Himmels;* introduction à la mécanique du ciel. Heilbronn, 1848. — *Bemerkungen über das Mechanische Aequivalent der Waerme* ; remarques sur l'équivalent mécanique de la chaleur. Heilbronn, 1851.

Nous prierons d'abord le lecteur de se reporter à la première étude sur l'histoire des théories de la chaleur insérée dans le premier numéro des *Annales du Conservatoire*, et qui serait incomplète si nous n'y joignions pas une esquisse de l'œuvre de R. Mayer et de celle de divers autres savants qui ont travaillé dans la même voie que lui. Nous avons reproduit les pages remarquables dans lesquelles Lavoisier a formulé la théorie du calorique avec un talent qui fait comprendre comment elle a pu régner longtemps dans l'enseignement, et effacer la notion de la nature vibratoire de la chaleur, telle que Descartes, Newton, Locke, etc., la concevaient. Bientôt reprise avec une grande lucidité par H. Davy, corroborée par les expériences de Rumford, la théorie vibratoire était cependant assez solidement fondée pour qu'on ne pût la négliger; il en fut ainsi surtout à l'étranger, car en France la théorie du calorique continua généralement à

être enseignée dans la plupart des cours de physique, sauf à les terminer par quelques observations sur le fluide dit calorique, observations tendant à prouver que très probablement il n'existe pas.

Pendant ce temps, la machine à vapeur perfectionnée par Watt se vulgarisant de plus en plus dans l'industrie, forçant les esprits à se poser le problème de la production du travail mécanique à l'aide de la chaleur, devait conduire nécessairement à établir la nature mécanique de celle-ci. On éprouve aujourd'hui quelqu'étonnement de voir, en lisant les écrits publiés par nos savants les plus éminents jusque dans ces dernières années, qu'ils ne s'arrêtent pas à cette question quand elle se présente le plus clairement; ce que peut expliquer, entre autres causes, la trop grande séparation établie en France entre la mécanique et la physique, faisant craindre à tout savant qui cultive l'une d'elles de s'occuper de l'autre, comme s'il ne s'agissait pas de deux parties d'une même science. C'est ce caractère d'appartenir à la fois à la physique et à la mécanique, c'est l'application à la première science des vérités acquises par la seconde, qui fait la nouveauté de l'œuvre de Sadi Carnot, et permet de l'estimer bien haut, car elle a le cachet des œuvres de génie d'être en dehors des sentiers battus. En prouvant qu'on ne pouvait, sans admettre le mouvement perpétuel, se refuser à reconnaître qu'une même quantité de chaleur produit, avec tous les corps, une même quantité de travail théorique, il a fait faire un grand pas vers la vérité. Peut-on en conclure qu'il a créé la théorie dynamique de la chaleur?

Je demande à ce sujet la permission de citer mieux qu'une appréciation faite aujourd'hui lorsque le grand nombre des travaux peut aisément induire en erreur : je veux parler de mon expérience personnelle. J'ai eu l'avantage de rencontrer par hasard, de découvrir, me sembla-t-il, l'admirable brochure de Sadi Carnot, ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, vers 1835. Je fus vivement frappé de la haute portée philosophique de la conclusion de S. Carnot; il me parut qu'elle constituait un progrès scientifique d'une grande valeur. Aussi, lorsqu'en 1844 je publiai l'article *Calorie* du *Dictionnaire des arts et manufactures*, je pensai faire un travail utile en cherchant à vulgariser et à multiplier les preuves de la vérité des raisonnements de Carnot

et lui donner une forme plus nette et plus précise, en établissant que : l'*unité de chaleur ne peut engendrer qu'un maximum de travail théorique, aussi nettement déterminé que le maximum que peut produire un corps pesant tombant d'une hauteur déterminée.*

J'étais, il me semble, bien préparé à passer des idées de Carnot à la théorie nouvelle, et cependant, tout en approchant de la vérité, je voyais toujours, comme tout le monde, un abîme entre la chaleur et le travail; personne ne pensait à la possibilité d'identifier des quantités qui paraissaient aussi hétérogènes que le calorique, fluide impondérable, et une quantité de travail. Il fallait, pour avancer plus loin, affirmer leur homogénéité sous une forme nette, saisissante, capable d'entraîner les convictions, susceptible de vérifications diverses. C'est ce que fit R. Mayer, en affirmant l'*Équivalence du travail mécanique et de la chaleur*, formule complète qui, entraînant la corrélation des diverses forces physiques, devait réagir profondément sur les sciences naturelles. La nécessité des relations intimes du travail et de la chaleur fut établie par lui avec une précision toute particulière; ainsi, voici comment il s'exprime dans son mémoire de 1842, en partant du phénomène bien constaté par Rumford, de la production de la chaleur par le frottement, des effets semblables de la percussion, de la compression, etc.

« Puisqu'il est établi que dans nombre de cas, on ne peut reconnaître d'autre effet du mouvement que de la chaleur, et qu'on ne peut constater d'autre cause de cette chaleur qui apparaît que ce mouvement, il faut admettre que la chaleur procède du mouvement ou croire à une cause sans effet, ou à un effet sans cause. — C'est raisonner exactement comme le chimiste qui, au lieu de constater seulement la disparition de l'oxygène et de l'hydrogène et l'apparition inexplicable de l'eau, établit une relation entre l'oxygène et l'hydrogène d'un côté et l'eau de l'autre. »

Ce ne fut cependant pas le mémoire de Mayer qui fit connaître, dans la majeure partie du monde savant, la notion de l'Équivalent mécanique de la chaleur; c'est par les expériences faites peu de temps après par le physicien anglais M. Joule, pour déterminer la valeur de l'Équivalent mécanique de la chaleur et par la publication des mémoires qui en renferment la description, qu'a été surtout propagée la notion de l'Équivalence du travail

et de la chaleur. M. Joule, auquel revient l'honneur d'avoir démontré expérimentalement la vérité de la nouvelle théorie, ne revendique pas l'honneur d'avoir formulé le premier l'idée de l'Equivalence, il pense que c'est question entre MM. Mayer et Seguin (voir plus loin). Voyons donc comment R. Mayer est arrivé à formuler l'important principe qui sert aujourd'hui de point de départ à de nouveaux progrès des sciences de la nature; comment, par un heureux effet du génie philosophique de l'Allemagne, il a ouvert aux travaux des savants une belle et féconde carrière.

2. — C'est par l'étude de la nature organique, c'est comme physiologiste que R. Mayer a été conduit à formuler les principes sur lesquels repose un des plus grands progrès accomplis dans la physique générale. Cette voie paraît assez extraordinaire pour qu'il soit intéressant de montrer comment il est arrivé ainsi à la notion de convertibilité de la chaleur en travail mécanique suivant un rapport invariable[1].

Dans l'été de 1840, dit-il, ayant eu l'occasion de saigner des Européens nouvellement arrivés à Java, je fis l'observation que le sang des veines du bras possédait, presque constamment, une couleur rouge étonnamment brillante.

Ce phénomène attira ma plus sérieuse attention. Selon la théorie de Lavoisier, d'après laquelle toute chaleur animale est le résultat de la combustion, le changement de couleur du sang dans les capillaires est un signe sensible, une indication visible de l'oxidation du sang. Par suite, le corps humain conservant une température constante, le développement de la chaleur intérieure doit être en relation de quantité avec la chaleur qui se dissipe extérieurement, quantité qui dépend de la température du milieu environnant. Donc la quantité de chaleur et l'oxidation, aussi bien que la *différence de couleur des deux espèces de sang,* doivent être moindres sous la zone torride que dans les régions froides.

Amené ainsi à l'examen de l'influence des causes physiques sur les phénomènes vitaux, R. Mayer rencontra bientôt les faits de mouvement qui viennent compliquer ceux de chaleur, mais

1. J'emprunte le passage suivant au mémoire de 1851.

qu'il eut l'heureuse idée de considérer comme pouvant rentrer dans ces derniers, quand on les emploie à produire un frottement, une compression calorifiques. Suivons le texte de son mémoire.

Il faut qu'il s'établisse une balance générale dans l'organisme, entre ce qui est reçu et ce qui est dépensé, ou entre ce qui est produit et ce qui est consommé; or, ce qui est consommé, c'est une quantité de matière, ce qui est produit, c'est un développement de chaleur. Ce dernier effet, toutefois, est de deux espèces, c'est-à-dire que la chaleur développée dans le corps humain qui passe directement d'une part dans son intérieur, se communique aux objets qui sont directement en contact avec lui; pendant que, d'autre part, celui-ci possède, au moyen de ses organes de mouvement, le pouvoir de produire de la chaleur mécaniquement, par frottement ou par quelque mouvement analogue, même en des points éloignés. Nous pouvons maintenant chercher à connaître : « *Si la chaleur développée directement est seule le résultat de la combustion, ou si l'on doit faire entrer dans le calcul la* SOMME *de la chaleur développée directement et indirectement.* » Cette question touche les véritables fondements de la science, et jusqu'à ce qu'elle ait reçu une réponse satisfaisante, le sain développement de la doctrine qui s'y rapporte est impossible.

La théorie physiologique de la combustion part de cette proposition fondamentale, que la quantité de chaleur qui provient de la combustion d'une substance déterminée, est *invariable*, c'est-à-dire que sa quantité n'est *pas influencée* par les circonstances qui accompagnent cette combustion; d'où l'on conclut que l'effet chimique de la matière combustible n'éprouve pas d'altération en quantité, même par les actions vitales, et que les organismes vivants, avec leurs mystères et leurs merveilles, ne sauraient créer de la chaleur de rien.

Si nous avons foi dans cet axiome physiologique, la réponse à la question posée ci-dessus est déjà faite. A moins de vouloir attribuer à l'organisme le pouvoir de créer de la chaleur, ce qui est reconnu absurde, on ne saurait admettre que la chaleur produite puisse jamais être plus grande que celle qui répond à l'action chimique. La théorie de la combustion étant telle, il n'y a d'alternative que de sacrifier la théorie elle-même ou d'ad-

mettre que la quantité *totale* de chaleur développée par l'organisme, partie directement, partie indirectement par l'intermédiaire d'une action mécanique, est égale à celle produite par la combustion.

De là il résulte, non moins inévitablement, que la chaleur produite mécaniquement par un organisme est dans une relation quantitative invariable avec le travail dépensé pour la produire, et *que l'invariabilité du rapport entre les quantités de chaleur et les quantités de travail est un postulatum de la théorie physiologique de la combustion.*

Pendant que je suivais la direction indiquée, il devint nécessaire à mes fins de fixer mon attention sur les relations physiques de la chaleur et du travail, et il devint impossible que la notion de l'équivalent mécanique de la chaleur restât cachée pour moi. Aussi, bien qu'un heureux hasard m'ait mis sur la voie de cette découverte, elle n'est pas moins mienne, et je n'hésite pas à affirmer mon droit de priorité.

Pour mettre à l'abri ce que j'avais découvert contre les accidents, j'en ai consigné les points les plus importants dans une note que j'ai envoyée, au printemps de 1842, à Liebig, avec prière de l'inscrire dans les *Annales de Chimie et de Pharmacie;* on peut la voir, dans le quarante-deuxième volume, page 283, sous le titre de : *Bemerkungen über die Kræfte der umbelebten Natur.*

L'accueil fait par ce savant à ma note sans prétention fut pour moi une chose heureuse; elle prit un caractère sérieux du fait de son adoption par un des premiers organes scientifiques, et je saisis cette occasion d'assurer publiquement le célèbre savant de ma reconnaissance et de mon estime.

Liebig lui-même a d'ailleurs, vers la même époque, montré d'une manière générale, mais en termes très-nets, la connexion qui subsiste entre la chaleur et le travail. En particulier, il affirma que la chaleur produite par une action mécanique, à l'aide d'une machine à vapeur mise en mouvement par de la chaleur qui est l'effet de la combustion, ne saurait être supérieure à celle originaire, recevoir aucun accroissement du fait de la production d'effets mécaniques, de quelque manière que ceux-ci développent de la chaleur.

De cela et d'expressions semblables de divers savants, ajoute

modestement R. Mayer, on peut inférer que la science était entrée depuis quelque temps dans une direction qui devait conduire nécessairement à reconnaître l'existence de l'Équivalent mécanique de la chaleur.

Revenons au second mémoire, objet principal de cette analyse. Il peut être divisé en deux parties : la première, dans laquelle l'auteur affirme la loi de la conservation du travail qui se manifeste si clairement dans la nature inorganique, et la seconde dans laquelle il applique cette loi aux phénomènes de la vie.

3. — Dès le commencement de ce mémoire il établit, comme il l'avait déjà fait dans celui de 1842, l'indestructibilité de la force, sa convertibilité et la constance de sa quantité. La chimie, dit-il, enseigne que dans les changements de qualité que nous présente la matière dans les divers cas, sa *forme* est modifiée mais non sa *quantité*. Ce que le chimiste enseigne pour la matière, le physicien doit l'enseigner pour la force ; la force est inaltérable comme la matière, et la fonction du physicien est d'étudier les formes de la force et de découvrir les conditions de ses métamorphoses. C'est là le seul problème que l'on doit se poser en philosophie naturelle ; quant à ce qui est de la création ou de la destruction de la force, ce sont des actes placés au delà des limites de la pensée comme du pouvoir de l'homme.

4. — Depuis des milliers d'années les hommes ont employé les puissances de la nature inorganique pour obtenir des effets mécaniques. A la puissance de l'air en mouvement et des chutes d'eau, une nouvelle a été ajoutée dans les temps modernes, celle du feu, que l'on a appris à convertir en effet mécanique. Soit un train de chemin de fer pesant 50,000 kil., auquel on communique une vitesse de 10 mètres par seconde ; cela peut être fait par la dépense d'une force mécanique ordinaire, en le faisant descendre par exemple sur un plan incliné, jusqu'à ce qu'il ait pris la vitesse voulue. Mais ce n'est pas habituellement à l'aide de la gravité que les trains surmontent la résistance du frottement, et sont mis en mouvement, mais par l'action d'une locomotive. Supposons le frottement de 1/150e du poids, à la vitesse

de 10 mètres par seconde, le travail serait égal à celui de près de 45 chevaux-vapeur. Cette génération d'une grande quantité de mouvement implique la dépense d'une égale quantité de force; or, la force dépensée dans le cas de la locomotive, c'est de la *chaleur*.

La quantité de chaleur enlevée par la vapeur qui travaille dans une machine est plus grande que celle qui peut être restituée par la condensation de cette vapeur. La différence entre les deux quantités est la chaleur utilement employée, c'est-à-dire exprime la quantité de chaleur qui a été convertie en effet mécanique. La machine la plus parfaite est celle qui permet d'obtenir le moins de chaleur par la condensation de la vapeur qui a travaillé dans son intérieur. Dans les meilleures machines, la différence est d'environ 5 p. 100; c'est-à-dire que sur 100 kil. de charbon brûlés dans une semblable machine, il n'y a pas moins de 95 kil. qui ne produisent aucun travail.

5. — Pour démontrer cette importante proposition, il faut approfondir la manière dont se comportent les fluides élastiques relativement à la chaleur et au travail mécanique. Gay-Lussac a prouvé par expérience que quand un gaz passe d'un ballon dans un autre de même capacité, mais vide, le ballon dont sort le gaz se refroidit, pendant que celui dans lequel il entre s'échauffe exactement du même nombre de degrés. Cette expérience remarquable par sa simplicité, montre par l'égalité des deux effets calorifiques produits, qu'un volume donné d'un fluide élastique peut devenir double, quadruple sans qu'il en résulte aucun changement de température, ou, en d'autres termes, qu'une dépense de chaleur n'est pas liée à la simple expansion d'un gaz.

6. — Soit une unité de volume d'air pris à 0° et sous la pression de 760^{mm}, que l'on chauffe à 274°, et soit x la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer cet air. S'il s'écoule dans un autre récipient vide de même volume, cet air conservera la température de 274°, le milieu environnant ne changera pas, par suite, de température. Soit maintenant ce même volume d'air chauffé, non plus à *volume constant*, mais sous une *pression constante* de 760^{mm} de 0° à 274°, il faudra dépenser une plus

grande quantité de chaleur que précédemment, soit cette quantité $x + y$.

7. — La vapeur, dans la machine à vapeur, lorsqu'elle agit sous le piston, se comporte comme l'air à pression constante. La chaleur nécessaire à l'expansion de la vapeur est $X + Y$. Quand la vapeur est condensée, la pression sous le piston étant nulle ou presque nulle, elle se comporte comme l'air dans le premier cas, la chaleur qu'elle dégage est X. Pour chaque coup de piston, la perte de chaleur est Y, c'est-à-dire qu'une *consommation de chaleur est inséparablement liée à l'action de la machine*.

8. — La quantité de combustible brûlée dans une machine peut servir de point de départ pour calculer la dépense totale de chaleur. Les pertes par rayonnement et conductibilité étant déduites, le reste est la chaleur employée en vue de produire un travail. Comme toutefois la partie de beaucoup la plus grande de la chaleur qui n'est pas utilisée ne peut être évaluée que grossièrement, on ne peut obtenir ainsi qu'une approximation. Le problème peut être résolu plus rigoureusement et plus simplement en calculant la quantité de chaleur qui devient latente quand un gaz se dilate sous pression constante. Soit x la quantité nécessaire pour chauffer un gaz de 1° sous volume constant; celle nécessaire pour produire la même élévation de température à pression constante sera $x + y$. Soit P le poids élevé dans ce dernier cas et h la hauteur à laquelle il est élevé, on a alors :

$$y = P \times h.$$

Un centimètre cube d'air atmosphérique à 0° et 760mm de pression barométrique pèse 0,0013 de gramme; chauffé de 1° sous pression constante, il se dilate de $\frac{1}{274}$ de son volume et élève une colonne de mercure de 76 centimètres de longueur, dont la base est d'un centimètre carré, d'une hauteur de $\frac{1}{274}$ de centimètre.

Le poids de cette colonne est de 1,033 grammes; la chaleur spécifique de l'air est, d'après Delaroche et Bérard, 0,267; par suite, la chaleur communiquée à un centimètre cube d'air pour élever la température d'un degré, est égale à celle qui élèverait $0{,}0013 \times 0{,}267 = 0{,}000347$ de gramme d'eau d'un degré.

D'après Dulong, la chaleur spécifique à pression constante est

à celle à volume constant comme 1,421 : 1 ; par suite, la quantité nécessaire pour élever la température de 1° notre centimètre cube d'air, à volume constant, sera seulement

$$\frac{0,000347}{1,421}=0,000244$$

de gramme d'eau à 1°.

Par suite la différence $(x+y-x)$ est

$$y=0,000347-0,000244=0,000103$$

unités thermiques, au moyen desquels un poids P=1,033 gram. est élevé d'une hauteur $=\frac{1}{274}$ de centimètre. Effectuant ces calculs, on trouve :

Une unité thermique (1 gramme d'eau chauffée de 1° centig.) = 1 gramme élevé à la hauteur de 367 mètres.

Tel est le calcul de Mayer pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. Il publia pour la première fois ce résultat en 1842, faisant usage de la valeur de la chaleur spécifique de l'air déterminée par Delaroche et Bérard. En employant celle obtenue par des expériences plus précises par M. Regnault, et sans rien changer au mode de calcul, l'équivalent de Mayer devient égal à 426 kilogrammètres, au lieu de 367; celui de Joule est égal à 425[1].

II

On a dit souvent que M. Séguin avait devancé de trois années le docteur Mayer dans le calcul de l'Équivalent mécanique de la chaleur; — qu'il avait en fait employé la même méthode pour arriver au *même résultat*. Pour vider cette question, nous mettrons les pièces sous les yeux du lecteur. Le livre de M. Séguin (*Sur l'influence des chemins de fer*) (Paris, 1839, pp. 385-389 inclusivement) étant rare, nous reproduirons ici les détails du calcul de l'équivalent mécanique qui s'y trouve, dit-on, contenu.

1. On reconnaîtra facilement que le calcul de Mayer est identique avec celui proposé après lui par plusieurs savants.

9. « Supposons donc que l'on ait renfermé dans un cylindre ABCD, ayant un mètre de section, un mètre cube de vapeur à 100°, et que cette vapeur soit contenue par un piston CD, dont le poids équivaut à un kilogramme par centimètre carré, et derrière lequel on fait le vide; ce qui représente, à peu de chose près, une pression égale à celle que l'atmosphère exerce sur tous les corps au niveau de la mer. L'appareil, d'ailleurs, étant disposé de telle sorte qu'il ne puisse ni céder ni recevoir du dehors aucune portion de calorique.

10. « Si l'on augmente la charge du piston CD, en y ajoutant successivement des poids pour comprimer la vapeur, jusqu'à ce que sa température se soit élevée de 20°, son ressort fera alors équilibre à une pression de 2 kil. par centimètre carré, et considérant que son volume augmente de 0,00375 de ce qu'il était à 100° par chaque degré de température, l'espace ABFE qu'elle occupera sera exprimé par

$$\frac{1+1\times20\times0,000375}{2}=0,5375,$$

On pourra considérer l'effet comme sensiblement représenté par la moyenne de toutes les pressions exercées par la vapeur depuis DC jusqu'en EF multipliée par l'espace parcouru DE.

11. « La pression étant de 1 kil. en DC et de 2 kil. en EF, et croissant en progression géométrique, en désignant par s la somme des termes, par n le nombre des termes, l le dernier, a le premier et q la raison, P la pression moyenne; faisant $n=100$, ce qui suffit pour obtenir une valeur de P assez approchée, et observant que la valeur de l ou la pression de la vapeur en EF, est égale à 2 kil. par centimètre carré et celle de a qui se rapporte à CD, égale à 1 kil., nous aurons pour déterminer q

$$l=a\,q^{n-1} \qquad q=\sqrt[99]{2}=1,007.$$

$$P=\frac{a\,(q^{n}-1)}{n\,(q-1)}=\frac{1\,(1,007^{100}-1)}{100\,(1,007-1)}=1,43.$$

Multipliant cette valeur par l'espace DE parcouru par le piston, égal à AD−AE=1—05375= 0,4625 et par 10,000, qui représente

le nombre de centimètres carrés contenus dans un mètre carré, on obtient

$$1,43 \times 0,4625 \times 10,000 = 6,613 \text{ kil.};$$

ce qui nous indique que l'effet théorique obtenu par la détente d'un mètre cube de vapeur comprimée par un poids de 2 kil. par centimètre carré, qu'on laisse répandre dans un espace qui répond à une pression de 1 kil. et à un abaissement de température de 20°, est représenté par un poids de 6,613 kil. élevé à 1 mètre, ou par 6,613 kilogrammètres.

12. — « En faisant un calcul analogue pour connaître les espaces qu'occupe la vapeur, lorsqu'on augmente sa pression de manière à faire élever sa température de 20 en 20 degrés, on trouvera :

1. Que pour 140° la pression en GH = $3^{\text{kil}}.61$,

$$ABHG = \frac{1 + 1 \times 40 \times 0,00375}{5.61} = 0^{\text{m}}319$$

$$GE = 0,537 - 0,319 = 0^{\text{m}}218 ; \quad P = 2^{\text{kil}}.83 ;$$

Et pour l'effet total,

$$2,83 \times 0,218 \times 10,000 = 6,170^{\text{km}}.$$

2. Pour 160° la pression en IK = $6^{\text{kil}}.15$,

$$ABKI = \frac{1 + 1 \times 60 \times 0,00375}{6,15} = 0^{\text{m}}199$$

$$IG = 0,319 - 0,199 = 0^{\text{m}}120 \quad P = 4^{\text{kil}}.82 ;$$

Et pour l'effet total,

$$4,82 \times 0,128 \times 10,000 = 5780^{\text{km}}.$$

3. Enfin, pour 180° la pression LM = $9^{\text{kil}}.93$,

$$ABLM. = \frac{1 \times 1 \times 80 \times 0,00375}{9,93} = 0^{\text{m}}131$$

$$LI = 0,199 - 0,131 = 0^{\text{m}}068, \quad P = 8^{\text{kil}}.00 ;$$

Et pour l'effet total,

$$8,00 \times 0,068 \times 10.000 = 5440^{\text{km}}.$$

13. — « Si nous supposons ensuite que lorsque la vapeur

pousse le piston devant elle, et que la chaudière est en communication avec le cylindre, sa température s'abaisse d'une quantité proportionnelle à l'effet dynamique produit, nous trouverons que la vapeur s'introduisant dans le cylindre à 100°, et perdant 20° pendant le mouvement du piston, la température, à la fin de la course, sera de 80°, et la pression de 0 kil. 485. La pression moyenne sera 0 kil. 727. Soit pour l'effet total,

$$0,727 \times 1 \times 10,000 = 7270^{\text{kil}}.$$

Valeur qui se trouve à peu près classée suivant la même loi que les autres quantités auxquelles nous sommes parvenus, en considérant l'effet produit par la vapeur à des températures et à des pressions plus élevées.

14. — « En réunissant tous ces résultats, et en les comparant à l'élévation de température qui leur correspond, nous formerons le tableau suivant :

Pressions en kilogrammes.	Températures réelles.	Effet produit en kilogrammes élevés à 1 mètre.	Différences.	Températures correspondantes à l'effet produit.	Différences.
0,48	80°				
1	100	7270	....	20°	
2	120	6613	657	18 ,20	1,80
3,61	140	6170	443	16 ,97	1,23
6,15	160	5780	390	15 ,90	1,07
9,93	180	5540	240	15 ,24	0,66

15. — On a maintenant les éléments qui permettent d'apprécier si ce calcul, comparé à celui de Mayer, permet de dire, avec M. Joule (*Philosophical Magazine*, août 1862) : « M. Séguin donne, page 389 de son livre, un tableau de la quantité de travail mécanique qui correspond à la perte de température de la vapeur lors de son expansion. De celui-ci résulte que 1° cent. correspond à 363 kilog. élevés à la hauteur de 1 mètre..... Les raisonnements de Mayer conduisent au même résultat que ceux de Séguin, mais sont plus explicites, plus clairs, bien plus complets. Il adopte la même hypothèse que le dernier savant, c'est-à-dire

que la chaleur dégagée, en comprimant un fluide élastique, est exactement l'équivalent du travail de compression, et il arrive ainsi au même équivalent, à savoir 365 kilogrammes par 1° centigrade. »

16. — D'après cette affirmation, répétée par plusieurs physiciens, la juste réputation du docteur Mayer paraît dépendre de la priorité de son calcul de l'Équivalent mécanique de la chaleur relativement à celui de M. Séguin; les pièces étant rapportées ici textuellement, chacun peut juger s'il a droit à la reconnaissance qui, à mon avis, lui est due. Qu'il nous soit permis seulement de bien poser la question. Le tableau sur lequel la priorité de M. Séguin peut reposer est maintenant sous les yeux du lecteur ; en s'y reportant, on y voit deux colonnes, l'une intitulée : « Effets produits en kilogrammes élevés à un mètre; » et l'autre : « Températures correspondantes à l'effet produit. » Le premier nombre de la première de ces colonnes est 7270 kilogrammètres, et la « température correspondante » est 20 degrés. Par suite, divisant 7270 par 20, le quotient 365 est le nombre de kilogrammètres correspondant à un seul degré. De même, les autres nombres analogues pris deux à deux donnent aussi 363 ou à peu près pour le nombre de kilogrammètres qui correspondent à un degré (et il n'en saurait être autrement par suite de la manière de calculer les « températures correspondantes.) Comme il n'y a pas de texte qui accompagne cette table, et que M. Séguin n'en a pas défini les termes explicitement, on peut soutenir qu'il a voulu dire que le nombre 365, trouvé par le docteur Mayer pour l'Équivalent mécanique de la chaleur, avait la même signification que le nombre 363 trouvé par lui. « Il est « toutefois impossible de ne pas conclure de la lecture des pages « précédentes, que Mayer et Séguin parlent de deux choses abso« lument différentes; que les degrés de l'un ne sont pas les degrés « de l'autre ; que les « températures correspondantes » du der« nier, qui se rapportent à la vapeur comprimée, ne sont nul« lement des calories ; et que le tableau ci-dessus ne renferme « aucune espèce de détermination de l'Équivalent mécanique de « la chaleur. »

17. — Le nombre 363 a été trouvé *pour* M. Séguin et non *par*

lui : il n'a jamais fait la division dont résulte ce quotient, qui n'offrirait d'intérêt qu'à cause de la similitude du nombre trouvé avec celui de R. Mayer, s'il se rapportait aux mêmes unités. En 1847, pour la première fois, et sans donner aucune description de sa méthode, M. Séguin donne des résultats « réduits au type de 1 gramme élevé à 1 mètre, et corrigé à l'aide de la véritable valeur des chaleurs spécifiques de l'eau et de la vapeur.» L'Équivalent alors donné varie de 395 à 529 kilogrammètres (*Comptes rendus*, vol. XXV, p. 420). Toutefois, les données sur lesquelles M. Séguin a fait reposer ces calculs, ont été plus tard déclarées erronées par lui-même; les expériences de M. Regnault, a-t-il dit, ont bouleversé ces calculs (*Cosmos*, vol. VI, p. 684); et M. Grove a montré que, quand on les corrige à l'aide de la valeur de la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, déterminée par M. Regnault, l'équivalent de M. Séguin devient 1666 au lieu de 363 (*Proceedings of the Royal institution*, vol. II, p. 155). On a vu que dans le cas de Mayer, quand on emploie la véritable valeur de la chaleur spécifique de l'air, le résultat est sensiblement identique à celui déduit des meilleures expériences de M. Joule. L'un est 426, l'autre 425.

18. — Pour compléter l'étude de ce point délicat, nous rapporterons ici la réponse que M. Joule a faite aux derniers passages de l'écrit de M. Tyndall. Après avoir reconnu l'erreur qu'il avait commise en prenant les degrés de la cinquième colonne du tableau de M. Séguin pour des unités de chaleur, il déclare conserver la conviction que M. Séguin a précédé Mayer, non plus alors au point de vue du calcul de l'Équivalent mécanique, mais à celui de l'établissement des principes de la nouvelle théorie. Je le prouve, dit-il, par les extraits suivants de l'ouvrage sur les *Chemins de fer :*

« ..... Il me paraît plus naturel de supposer qu'une certaine quantité de *calorique* disparaît dans l'acte même de la production de la force ou puissance mécanique, et réciproquement; et que les deux phénomènes sont liés entre eux par des conditions qui leur assignent des relations invariables. Il résulterait, comme conséquence de cette manière d'envisager les faits, que si l'on fait passer directement de la vapeur d'eau de la chaudière qui la produit à travers une masse d'eau dans laquelle elle se condense,

cette vapeur élèvera plus la température de l'eau que si on la faisait servir préalablement à mettre en jeu une machine à vapeur, dans laquelle elle perdrait une partie de son ressort. » (Page 382.)

« L'abaissement de température qui accompagne l'expansion de tout fluide aériforme dans un espace plus grand que celui qui répond au degré de tension où il était d'abord, et le phénomène opposé, ou la production de chaleur qui est toujours la suite de sa compression, me paraissent deux circonstances qui viennent à l'appui de cette assertion. » (Page 384.)

« Je vais donc raisonner dans l'hypothèse que l'abaissement de *température* de la vapeur, lorsqu'elle se dilate, représente exactement la quantité de puissance qui apparaît alors. » (Page 384).

« Enfin, l'abaissement subit de température de la vapeur lorsqu'elle s'échappe dans l'air, circonstance mise à profit de nos jours pour utiliser son ressort et sa puissance, montre que, dans ce cas, l'effort qu'elle exerce en recul contre les appareils qui la laissent échapper, ou la vitesse qu'elle communique à l'air ambiant, forment un équivalent de la perte de chaleur qu'elle éprouve. » (Page 394).

M. Séguin fournit des données dont on peut facilement déduire l'équivalent mécanique de la chaleur, dans son hypothèse, ce qui conduit à un résultat trop grand parce que l'effet thermique de la compression est évalué insuffisamment. Ni dans l'écrit de 1839 de Séguin, ni dans le mémoire de Mayer de 1842, on ne trouve des preuves de l'hypothèse émise suffisantes pour qu'on pût l'admettre dans la science, sans autres recherches. Je crois que Mayer ne rapporte l'expérience attribuée à Gay-Lussac que dans son écrit de 1845. Mayer paraît s'être hâté de publier ses premières vues pour s'assurer la priorité d'une découverte, sans attendre qu'il eût la possibilité de l'appuyer sur des faits. Mon plan, au contraire, a été de ne publier de semblables théories que lorsque je pouvais les appuyer par des résultats d'expérience, bien convaincu de la vérité de la remarque de sir J. Herschel, « qu'une généralisation prématurée est le fléau de la science... »

19. — Nous n'avons nullement besoin de prendre part à une contestation un peu trop vive, née, croyons-nous, à l'occasion de

la médaille Copley, que M. Tyndall eût désiré faire décerner au docteur Mayer. Nous croyons qu'il est fâcheux que cette excellente idée n'ait pas été adoptée, et qu'un témoignage d'admiration ne soit pas allé trouver un savant dont l'existence a toujours été pénible, qui a trop joui, pour l'honneur de notre époque, du privilége qui appartient trop souvent aux inventeurs, d'être mal récompensés de leurs efforts. Nous dirons, toutefois, que nous eussions conclu, avec M. Tyndall, que les cinq pages de M. Séguin, quelque intéressantes qu'elles soient, ne détruisaient pas les droits de R. Mayer, moins au point de vue de la rigueur du calcul qu'à celui d'une conception plus complète de la loi d'équivalence du travail mécanique et de la chaleur et des conséquences importantes qui en découlent. On voit bien, en effet, aujourd'hui, que M. Séguin avait un pressentiment extrêmement remarquable de la vérité, mais qu'il n'osait en quelque sorte insister sur la nécessité de l'équivalence du travail et de la chaleur, ni affirmer leur homogénéité, car, bien que possesseur de la tradition de Montgolfier, il parle toujours de calorique, de température, et jamais de quantité de chaleur. On ne saurait, dans ces conditions, poser M. Séguin, malgré tout le mérite de sa si remarquable tentative, comme le seul créateur d'une théorie qui identifie quantité de travail et quantité de chaleur. On a raconté souvent que Hooke avait parlé de l'attraction avant Newton, et malgré la valeur très-réelle des travaux de son rival, a-t-on marchandé une admiration bien méritée à l'œuvre de l'immortel auteur des *Principes?* Les mémoires de Mayer lui donnent une position quelque peu analogue : le premier il a senti la grandeur de la notion d'équivalence de travail et de la chaleur; il a su indiquer qu'elle conduisait à la synthèse des forces naturelles, et mettait sur la voie d'admirables découvertes. Pour ses travaux comme pour quelques-uns en petit nombre qui ont fait époque dans l'histoire des sciences, il est juste de compléter l'idée de J. Herschell, et de dire que si une généralisation prématurée est en général un fléau, la généralisation due à une vue supérieure, qui devance les progrès de détail, est la plus belle œuvre du génie de l'homme.

III

20. — Après avoir calculé l'équivalent mécanique de la chaleur, Mayer cherche à déterminer l'effet utile des machines à vapeur, et trouve qu'il est d'environ 5 p. 100 du combustible consommé. Il cherche de même l'effet utile de la poudre à canon, et trouve, dans certains cas, que la vitesse imprimée au projectile répond à 9 p. 100 de la chaleur développée par la combustion du charbon de bois qui entre dans sa composition. Il donne divers exemples de la génération de la chaleur par du travail mécanique, et décrit quelques observations faites par lui dans une papeterie, dans laquelle se trouvaient quatre piles à papier contenant chacune 40 kil. de pâte et 600 kil. d'eau. La température ambiante étant de 15° c., la pulpe passait en 32 minutes de 14° à 16°. La température la plus élevée fut de 30° et resta uniforme pendant plusieurs heures. Remarquant que dans une minute un cheval peut élever $75 \times 60 = 4500$ kilog. à la hauteur d'un mètre, l'échauffement de 640 kil. d'eau d'un degré en 16 minutes (en ne faisant pas entrer en compte la chaleur communiquée aux parois), est équivalente à 3,20 chevaux-vapeur. On évalue dans les papeteries, qu'une pile consomme le travail de 5 chevaux-vapeur. Qu'est devenu le travail mécanique de 5 chevaux qui disparaît dans cette machine? Les faits répondent: *Il est devenu chaleur*.

21. — Il fait voir ensuite les relations du travail mécanique avec l'électricité et le magnétisme, et passe à la comparaison des combinaisons chimiques et des opérations mécaniques. Il dit d'un poids placé à telle distance de la terre que l'attraction de celle-ci serait insensible, qu'il est à l'état de *séparation mécanique;* la chute d'un tel poids sur la terre serait un cas de *combinaison mécanique*. Ce poids atteindrait la surface de la terre avec une vitesse de 11,200 mètres par seconde, et la chaleur engendrée par le choc pourrait élever la température d'un poids égal d'eau de 17.350°. Les combinaisons chimiques sont dans leur principe les mêmes. La combinaison chimique de 1 gramme de

charbon avec 2,6 grammes d'oxygène est *équivalente* à la combinaison mécanique d'un poids de 1/2 gramme avec la terre. La combinaison chimique d'un gramme d'hydrogène avec 8 gram. d'oxygène, est *équivalente* à la combinaison mécanique d'un poids de 2 grammes avec la terre. La chaleur alors dégagée est égale à 34.700 unités de chaleur.

La manière dont Mayer explique ses conceptions sur l'union des atomes et les phénomènes astronomiques, est un remarquable exemple de la puissance de généralisation. Il s'exprime ainsi :

22. — La terre se meut dans son orbite avec une vitesse moyenne de 30.400 mètres. Pour produire ce mouvement par la combustion du charbon, il faudrait en consumer un poids égal à 15 fois celui de la terre, et la chaleur produite serait suffisante pour élever un poids d'eau égal à celui de la terre de 128.000°. Supposons une masse égale à celle de la terre placée sur la surface du soleil ; pour enlever cette masse et la placer à une distance égale à celle de la terre (215 fois le rayon du soleil), et pour lui communiquer la vitesse de 30,400 mètres, il faudrait 429 fois la quantité de charbon indiquée ci-dessus, ou 6,435 fois le poids de la terre.

(C'est le développement de l'idée énoncée ici, la grande quantité de chaleur qui peut résulter de l'arrêt subit d'un corps en mouvement, qui forme le point de départ du mémoire de 1848 (*Dynamick des Himmels*), dans lequel Mayer a formulé la théorie de l'origine météorique de la chaleur solaire, que W. Thomson (d'Édimbourg), a professée avec un grand éclat).

24. — Mayer considère ensuite brièvement le cas d'une batterie voltaïque, et d'une pile à gaz. Puis il trace un tableau des cinq principales formes d'énergie qu'il a examinées et sous vingt-cinq titres différents, trace leurs relations et leurs conversions mutuelles les unes dans les autres. « Des notions préconçues, dit-il, sanctionnées par le temps et l'habitude, et non les phénomènes de la nature sont opposées aux propositions indiquées ici. Pendant, ajoute-il, que l'on attribue la substantialité au *mouvement*, on dénie toute matérialité à la chaleur et à l'électricité. Je sais que je rencontre ici des convictions fortement

enracinées, des hypothèses sanctifiées en quelque sorte par l'adhésion des plus grandes autorités. En bannissant de la science la théorie des impondérables, on bannit les derniers restes de la mythologie de la Grèce; mais on sait que la nature, dans sa simple vérité dépasse en splendeur les inventions de la fantaisie humaine, comme elle surpasse les opérations de la main de l'homme. »

24 *bis*. — Je placerai ici un admirable passage de Fresnel sur la convertibilité de la lumière en chaleur, qui est peu connu et qui montre que ce grand physicien doit être cité au premier rang parmi les précurseurs de la nouvelle théorie.

« C'est un principe général du mouvement des fluides élastiques, que de quelque façon que l'ébranlement s'étende ou se subdivise, la somme totale des forces vives reste constante. Et voilà principalement pourquoi la force vive doit être considérée comme la mesure de la lumière, dont la quantité totale reste toujours à très-peu près la même, tant qu'elle ne traverse du moins que des milieux très-transparents. Les corps noirs et même les surfaces métalliques les plus brillantes, ne réfléchissant pas à beaucoup près la totalité de la lumière qui tombe sur leur surface; les corps imparfaitement transparents, et même les plus diaphanes quand ils sont assez épais, absorbent aussi (pour me servir de l'expression usitée), une quantité notable de la lumière incidente; mais il n'en faut pas conclure que le principe de la conservation des forces vives n'est pas applicable à ces phéno mènes; il résulte au contraire de l'idée la plus probable qu'on puisse se faire sur la constitution mécanique des corps, que la somme des forces vives doit rester la même (tant que les forces accélératrices qui tendent à ramener les molécules à leurs positions d'équilibre, n'ont pas changé d'intensité); et que *la quantité des forces vives qui disparaît comme lumière est reproduite en chaleur*. »

IV

Ayant tracé une voie lumineuse à travers les puissances de la nature inorganique, Mayer s'occupe des phénomènes de la vie, et en même temps attire l'attention de ses lecteurs sur le soleil.

25. — Mesuré au moyen d'unités humaines, le soleil est une source incommensurable d'énergie physique. C'est un ressort continuellement tendu qui est la source de toute activité à la surface de la terre. La grande quantité de force envoyée par la terre dans l'espace sous forme d'ondulations, aurait bientôt amené sa surface à la température de la mort; mais la lumière du soleil fournit une compensation incessante. C'est la lumière du soleil convertie en chaleur, qui met notre atmosphère en mouvement, élève l'eau dans les nuées et par suite détermine le cours des eaux des rivières. La chaleur développée par frottement dans les rouages de nos moulins à vent et moulins à eau, vient du soleil à la terre sous la forme d'un mouvement vibratoire.

26. — La nature s'est proposé à elle-même la tâche d'accumuler la lumière qui s'écoule du soleil sur la terre, pour mettre la plus fugitive de toutes les puissances sous une forme matérielle en quelque sorte, et ainsi la disposer pour ses desseins. Dans ce but elle a couvert la terre d'organismes qui, vivants, reçoivent en eux la lumière solaire et qui, à l'aide de son énergie, engendrent incessamment des forces chimiques.

27. — Ces organismes sont *les plantes*. L'ensemble des végétaux constitue un réservoir dans lequel les rayons fugitifs du soleil sont fixés, déposés d'une manière convenable, et se trouvent prêts à être utilisés[1]. L'existence de la race humaine est inséparablement liée à cette organisation. L'action réductrice des rayons du soleil sur les substances organiques et sur quelques corps inorganiques, est bien connue; cette réduction se produit abondamment par l'effet d'un rayon de soleil, elle est moindre dans l'ombre, elle est nulle dans l'obscurité, et même à la lumière d'une bougie. La réduction est la conversion d'une forme de force dans une autre, — d'un effet mécanique en tension chimique.

28. — Il n'y a pas encore longtemps que c'était une ques-

1. La forme chimique de réduction dont va parler Mayer, n'est pas nécessairement la seule qui puisse exister d'après cette manière excellente, la seule exacte, croyons-nous, de poser la question.

tion controversée de savoir, si, pendant leur vie, les plantes ne possédaient pas la faculté de modifier les éléments chimiques et en réalité de les créer. Les faits paraissaient en faveur de cette opinion, mais un examen plus approfondi a prouvé qu'elle était erronée. On sait maintenant que la quantité totale de matière unie à une plante et excrétée par elle est égale à la matière empruntée à l'extérieur. Un arbre par exemple, d'un poids de plusieurs milliers de kilogrammes, a pris chaque parcelle de sa substance dans ses alentours. Dans les plantes il n'y a que *changement* et non *création* de matière.

29. — Les plantes consomment la force de la lumière et produisent à sa place des tensions chimiques. Depuis de Saussure, on sait que l'action de la lumière est nécessaire pour la réduction. En premier lieu on peut chercher si quand la lumière tombe sur des plantes vivantes elle trouve un autre emploi que lorsqu'elle rencontre la matière morte ; et par suite, *cæteris paribus*, si les plantes sont moins échauffées par la lumière solaire que les autres corps de même couleur. Les résultats des observations faites jusqu'ici sur une petite échelle, paraissent demeurer dans les limites d'erreur possible. D'un autre côté, l'expérience de chaque jour nous enseigne qu'une riche végétation agit puissamment pour modérer l'action de la lumière solaire qui échauffe de vastes étendues de terre, bien que les plantes, à cause de la couleur foncée des feuilles, paraissent plus propres à absorber une grande quantité de chaleur que la terre nue. Si dans le calcul des effets de refroidissement, l'évaporation des plantes n'est pas suffisante pour rendre compte des faits, on doit répondre à la question proposée par l'affirmative.

30.— La seconde question se rapporte à la cause de la tension chimique produite dans la plante. Cette tension est une force physique. C'est l'équivalent de la chaleur produite par la combustion de la plante. Comment cette force pourrait-elle prendre naissance par les actions vitales et sans la dépense de quelqu'autre forme de force? La création d'une force physique, difficilement admissible en elle-même, paraît complètement paradoxale quand on considère que ce n'est qu'avec l'aide des rayons du soleil que les plantes peuvent effectuer leur œuvre. En adoptant l'action

hypothétique de la *force vitale*, ou abandonne toute recherche ultérieure, et l'application des méthodes des sciences exactes à tous les phénomènes de la vitalité est rendue impossible. Les personnes qui adoptent une notion aussi opposée à l'esprit scientifique tombent bientôt dans le chaos d'une fantaisie déréglée. J'espère avoir le droit d'admettre que le lecteur sera de mon avis quand je poserai comme un axiome, que *pendant la vie il ne survient que des modifications dans la matière comme dans la force, et qu'il n'y a jamais création ni de l'une ni de l'autre.*

V

31. — La force physique recueillie par les plantes est utilisée par une autre classe de créatures : *par les animaux*. Les animaux vivants consomment les substances combustibles du règne végétal et produisent leur union avec l'oxygène de l'atmosphère. Parallèlement à cette action apparait le travail mécanique fait par les animaux. Ce travail est la fin et le but de l'existence animale. Les plantes produisent certainement quelques effets mécaniques, mais il est évident que pour des masses égales et des temps égaux, la somme des effets produits par une plante est tout-à-fait insignifiante, comparée à ceux produits par un animal. Pendant que pour la plante la production d'effets mécaniques est négligeable, au contraire, la conversion des tensions chimiques en effets mécaniques est le signe caractéristique de la vie animale.

32. — Un corps animal dépense perpétuellement des forces chimiques. Les composés ternaires et quaternaires subissent d'importants changements pendant la vie de l'animal, et sont ramenés, pour la plus grande partie, à la forme de composés binaires, comme des substances brûlées. La grandeur des forces, par rapport à la chaleur développée, n'est pas déterminée avec une grande précision ; mais pour l'établissement du principe nous pouvons nous borner à tenir compte de la chaleur de la combustion du carbone pur. Quand de nouveaux éléments auront été déterminés, il sera facile de modifier nos calculs numériques pour les faire concorder avec de nouveaux faits.

33. — Prenons avec Dulong 8550° pour la chaleur de combustion du carbone. Le travail mécanique qui correspond à la combustion d'une unité de poids de charbon, correspond à l'élévation de 3,120,750 kilog. à la hauteur d'un mètre.

Si l'on veut exprimer par un poids de carbone la quantité de force chimique que doit dépenser un cheval, pour effectuer un travail égal à la quantité indiquée ci-dessus en un jour, on trouve que l'animal doit brûler en un jour 0,49 kil. de carbone, 0,02 en une heure, et 0,00033 en une minute, en production d'effet mécanique.

D'après les évaluations reçues, le travail d'un manœuvre vigoureux est 1/7 de celui d'un cheval. Un homme qui en un jour élève 1,850,000 livres à la hauteur d'un pied ou 205,350 kilog. à à la hauteur d'un mètre doit consommer pour ce travail 0,07 de carbone. C'est pour une heure (le jour étant compté de huit heures de travail) $0^{k}.00888$; pour une minute 0,000148 de carbone. Le joueur de boule qui lance une boule de 4 kilog. avec une vitesse de 10^{m} par seconde, consomme dans cet effort 0.00064 de gramme de carbone. Un homme qui élève son propre poids (75 kil.) à une hauteur de 2,64 mètres, consomme dans cet acte 0,06 gramme de carbone. En gravissant une montagne de 5,000 mètres de hauteur (en ne tenant pas compte de la chaleur engendrée par le choc des pieds sur la terre), on consomme 0,0573 de carbone.

34. — Si l'organisme animal employait les matériaux combustibles seulement à la production d'un travail mécanique, les quantités de carbone qui viennent d'être calculées suffiraient pour les temps indiqués. Mais en réalité, il se produit dans le corps d'un animal, outre des effets mécaniques, de la chaleur. La force chimique contenue dans la nourriture et dans l'oxygène inspiré est donc la source de *deux* formes de puissance, savoir : le mouvement mécanique et la chaleur, et la *somme* de ces deux forces physiques qui apparaissent chez un animal est l'équivalent des actions chimiques qui se produisent dans le même temps. Si la quantité de travail mécanique effectué par un animal dans un temps donné, était recueillie et convertie, à l'aide du frottement ou par tout autre moyen, en chaleur, en ajoutant celle-ci à la chaleur engendrée directement dans le corps de

l'animal pendant le même temps, on aurait la quantité exacte de chaleur qui correspond aux actions chimiques qui ont produit leur effet.

35. — Dans un animal en action, continue Mayer, la combustion est plus considérable que quand il est en repos. Soit x la quantité d'action chimique accomplie pendant un certain temps dans un animal en repos, et $x+y$ cette quantité quand il est en action. Si la même quantité de chaleur apparaissait dans les deux cas, la force chimique additionnelle y correspondrait au travail effectué ; mais en général, il y a plus de chaleur dégagée dans un organisme quand il est en action que quand il est en repos. Aussi, dans l'animal qui travaille, on a x plus une portion de y pour la chaleur du corps, le reste de y étant converti en effet mécanique.

36.— On peut parfaitement démontrer que l'excès de matières combustibles consumé pendant qu'un animal travaille, contient la force nécessaire pour l'exécution de ce travail. Un fort cheval qui ne travaille pas, est amplement nourri avec 15 livres de foin et 5 livres d'avoine par jour. Si l'animal accomplit chaque jour le travail d'élever un poids de 12,960,000 livres à un pied de hauteur, il ne peut plus exister avec la même quantité de nourriture. Pour le maintenir en bon état, il faut lui donner en plus 11 livres d'avoine. Les 20 livres de nourriture indiquées en premier, répondant à la quantité désignée par x, renferment, d'après Boussingault, 8,074 livres de carbone. L'addition de 11 livres d'avoine, notre quantité y, en renferme d'après la même autorité 4,734. En outre d'après Boussingault, le carbone introduit est à celui qui n'est pas utilisé sous forme combustible comme 3938 : 1364,4. Calculant d'après ces données, on trouve x, ou la quantité de carbone brûlée par l'animal au repos 5,2766 livres et $y=3,094$ livres. La quantité consommée en effet mécanique est 1,34 livres que nous appellerons z.

37. — Nous avons donc les relations suivantes : — 1. L'effet mécanique est à la consommation totale comme $z : x+y=0,16$. 2. L'effet mécanique est à l'excès de consommation de l'animal travaillant comme $z : y=0.43$. — 3. La génération de chaleur au

repos est à la génération de chaleur lorsqu'il y a travail comme $x : x + y - z = 0{,}75$.

38. — Dans la même voie, Mayer s'appuyant sur les observations faites par Liebig sur des prisonniers et des soldats à Giessen, a déterminé de semblables relations pour l'homme. 1° L'effet mécanique est à la consommation totale comme 95,7 : 540 = 0,177. 2° L'effet mécanique est au surplus de consommation de l'homme qui travaille comme 95,7 : 285 = 0,336. 3° La génération de chaleur pour l'homme au repos est à celle de l'homme qui travaille comme 255 : 540 — 95,7 = 0,57.

39. — Dans ces calculs, continue-t-il, je n'ai tenu compte que du carbone consumé. Si la chaleur de combustion est évaluée être égale au carbone + hydrogène, la chaleur qu'il faut ajouter pour l'hydrogène peut être considérée comme à peu près égale à 4 fois celle du carbone. Il faut observer que suivant les constitutions des individus et les habitudes de vie, le travail et la combustion peuvent subir des variations considérables. Les résultats ci-dessus, démontrent toutefois les proportions suivantes :

1° La nourriture supplémentaire consommée par un organisme travaillant suffit complétement pour rendre compte du travail produit.

2° L'effet mécanique maximum produit par un mammifère travaillant s'élève difficilement à 1/5 de la force qui correspond à la totalité du charbon consumé. Les 4/5 restants sont employés à produire de la chaleur.

VI

40. Afin de pouvoir convertir les forces chimiques en travail mécanique, les animaux sont munis d'organes spécifiques qui manquent dans les plantes. Ce sont les muscles.

41. — Deux choses sont nécessaires pour l'activité d'un muscle : 1° L'influence des nerfs moteurs comme condition déter-

minante; et 2° les changements qui surviennent dans la matière comme cause de l'effet mécanique [1].

42. — Comme tout l'organisme animal, l'organe lui-même, le muscle a, à la fois, une relation psychique (dans l'esprit) et une autre physique. On considère comme dominant la première l'influence nerveuse; comme réglant la seconde, les actions chimiques.

43. — Les mouvements du bateau à vapeur sont de même produits sous la double direction du pilote et du mécanicien. L'influence spirituelle, toutefois, sans laquelle le bateau ne peut être mis en mouvement, ou en absence de laquelle il va se briser sur les rescifs les plus voisins, guide mais ne contribue pas au mouvement. Pour faire avancer le vaisseau, il faut une force physique — la force qui naît du charbon; en son absence le vaisseau reste immobile, quelque énergique que soit la volonté du navigateur.

C'est ainsi que cet homme remarquable, à l'époque où les écrits des plus célèbres professeurs étaient obscurcis par le mysticisme pour tout ce qui se rapporte aux phénomènes vitaux, fit briller la lumière dans l'obscurité et montra que les réactions qui se passent dans le corps humain sont en harmonie avec la grande loi de la conservation du travail, que lui-même, seul et sans aide, il avait su découvrir.

44. — Continuons à donner quelques remarques de Mayer sur le mouvement musculaire.

Dans la première partie de ce mémoire, il analyse le rôle de la combustion dans les appareils inorganiques, comme dans la

1. Il y aurait à analyser la manière dont il est possible de se rendre compte, au point de vue mécanique, de la conversion de la chaleur en travail mécanique dans les muscles, comme on est parvenu à le faire d'une manière satisfaisante pour la vapeur agissant sur le piston de la machine à vapeur, ce qui répond au plus grand progrès dans l'analyse des phénomènes accompli depuis les pages écrites par Mayer. Le travail répondant à une extension du muscle, c'est bien probablement cette extension qui, par suite de l'écartement des molécules, produit du froid, une consommation de chaleur; la combustion simultanée du sang ne permet pas, d'ailleurs, de constater d'abaissement de température.

machine à vapeur. Montrant ensuite que les phénomènes de vitalité doivent être considérés au point de vue de leurs rapports avec les forces physiques, il donne aux propositions de physiologie les solides bases d'une science exacte.

45. — Il a été établi déjà qu'un homme travaillant activement convertit en un jour 0,19 livres de carbone en effet mécanique. Le poids de tous les muscles de cet homme, dont le poids est de 150 livres, est de 64 livres, et en soustrayant 77 pour 0/0 d'eau, il reste 15 livres de matériaux combustibles à l'état sec. Si l'on admet (ce qui n'est pas exact, je crois) que le pouvoir de cette masse qui renferme 40 0/0 d'azote et d'oxygène soit, pour produire de la chaleur, égal à celui d'une masse égale de carbone pur, on voit que si le travail était produit aux dépens des muscles eux-mêmes, la totalité serait oxydée et consommée en effet mécanique en quatre-vingts jours.

46. — Cette déduction arithmétique deviendra encore plus évidente si nous portons notre attention sur le travail exécuté par un muscle, — le cœur. Admettons avec Valentin, que la quantité de sang est, dans le ventricule gauche, à chaque systole, d'environ 150 centimètres cubes. La pression hydrostatique du sang dans les artères est, suivant Poiseuille, égale à la pression d'une colonne de mercure de 16 centimètres de hauteur. Le travail mécanique fait par le ventricule gauche durant la systole, peut être calculé d'après ces données. Il est égal à l'élévation d'une colonne de mercure de 16 centimètres de longueur et une base d'un centimètre quarré, à une hauteur de 150 centimètres. Le poids du mercure s'élève à 217 grammes. L'effet mécanique d'une systole est par suite de 325,6 grammes élevés à 1 mètre, ce qui est équivalent à 0,000,887 d'unité thermique, ou bien à la combustion de 0,0001037 de gramme de carbone. Comptant 70 pulsations par minute et pour un jour 100,800, le travail fait par le ventricule gauche en un jour est équivalent à l'élévation de 32,820 kil. à une hauteur d'un mètre. Cette quantité répond à 89,428 unités thermiques, c'est-à-dire à la combustion de 10,45 grammes de carbone. D'après Valentin, le travail fait par le ventricule droit est la moitié de celui fait par le gauche. Le travail des deux capacités, en un jour, est donc égal à l'élévation de

40,230 kilog. à 1 mètre de hauteur = 134,143 unités thermiques = 15,87 grammes de carbone.

47. — Admettant que le poids de tout le cœur est de 500 gr., et déduisant de ce poids 77 p. 100 d'eau, il reste 117 grammes de matière combustible sèche. Admettant que la chaleur produite par la combustion de cette matière soit égale à celle d'un même poids de carbone pur, il en résulterait que l'organe entier, s'il avait à fournir la matière nécessaire à son action, serait oxydé en huit jours. Prenant le poids des deux ventricules seuls, qui est de 202 grammes, dans les mêmes conditions, la combustion complète de ce tissu musculaire serait effectuée en 3 jours 1/2.

48. — Ce qui précède donnera au lecteur une idée précise du beau mémoire publié par R. Mayer, en 1845, et une notion sommaire des autres travaux publiés par lui de 1842 à 1851. Je ferai en terminant une observation sur la méthode qu'il a employée et qui n'est pas aussi défectueuse qu'il peut sembler *a priori*. Sans doute, puisqu'il s'agit ici de questions de physique, la méthode expérimentale peut trouver à s'appliquer utilement, et l'on ne saurait savoir trop de gré au savant expérimentateur, M. Joule, qui, par ses beaux travaux, a mis à l'abri de toute contestation les principes de la théorie mécanique de la chaleur. Mais si R. Mayer en ne s'appuyant dans ses mémoires que sur des faits acquis à la science avant lui, en a pu déduire des conséquences importantes, c'est qu'il ne s'agissait pas seulement de physique, mais aussi de mécanique, science dans laquelle, comparativement à la précédente, la déduction tient plus de place que l'expérimentation. Comme Sidi Carnot avait tiré de remarquables déductions physiques de l'impossibilité mécanique du mouvement perpétuel, R. Mayer a déduit des conséquences fécondes de la généralité de l'application à tous les phénomènes physiques du grand principe de la conservation des forces vives. Il y avait là une grande vérité à proclamer, sans qu'il fût besoin d'expériences nouvelles ; c'est là l'œuvre de R. Mayer, qui lui vaudra une belle place parmi les hommes qui ont contribué aux progrès des sciences de la nature.

ÉTUDE

SUR

LES FUMIERS DE FERME,

LA CHAUX ANIMALISÉE, LA CHAUX SUPERSATURÉE

et divers autres engrais,

PAR M. MOSSELMAN.

PREMIÈRE PARTIE.

ESTIMATION DE LA VALEUR DES FUMIERS.

Toutes les fois que l'on veut apprécier la valeur agricole d'un engrais, on doit le comparer au fumier de ferme, parce que c'est un engrais naturel, complet, le mieux connu et le plus répandu parmi les cultivateurs. Mais pour que les comparaisons soient justes, il est essentiel, indispensable même, d'être fixé sur la valeur réelle du fumier de ferme, base de toute comparaison.

Il est d'autant plus nécessaire d'insister sur ce point que la plupart des agriculteurs, produisant le fumier chez eux, l'estiment non-seulement au-dessous de sa valeur, mais encore au-dessous de son prix de revient. Les écrivains agricoles eux-mêmes varient dans leurs estimations. Nous allons chercher à éclaircir cette importante question.

1er *Mode d'estimation du fumier de ferme.*

M. J. Girardin [1] cite l'autorité de Mathieu de Dombasle, qui estime les 1 000 kil. de fumier à. 6 70

de Gasparin.	6 66
Girardin.	6 25
Ridolfi.	6 80

1. Des fumiers et autres engrais animaux. P. 250.

ce qui fait une moyenne de 6 fr. 60 les 1 000 kil., où le mètre cube de fumier pesant 700 kil., à 4 fr. 62.

Nous prendrons ce chiffre de 700 kil. pour poids du mètre cube de fumier fait, toutes les fois qu'il ne s'agira pas d'un fumier particulier dont le poids sera déterminé.

Cependant M. Girardin ajoute que « le prix commercial « du fumier est inférieur à sa valeur agricole réelle », et pour le prouver il établit cette valeur d'après les quantités d'azote et de phosphate de chaux, contenues dans un fumier dont la composition est obtenue en prenant la moyenne de 12 fumiers différents analysés par M. Boussingault (voir au tableau).

5k87 d'azote qu'il met à 1 fr. 13 c. le kil.	6.63
7k88 de phosphate de chaux à 0 fr. 15.	1.18
ce qui met les 1 000 kil. à fr.	7.80
et le mètre cube pesant 700 kil. à fr.	5.46

Ce chiffre est déjà plus élevé que la moyenne citée plus haut ; mais en ayant recours à l'analyse chimique, on arrivera à une valeur plus grande.

Pour faire le calcul, j'admettrai les valeurs attribuées par les chimistes agricoles, et citées par M. Barral, dans son ouvrage du *Bon fermier*.

Il estime l'azote à.	2f. 00 c.	le kilog.
L'acide phosphorique à.	0 .40	—
Les matières organiques à.	0 .02	—
Les sels alcalins à.	0 .05	—
Le phosphate insoluble (phosphate tribasique de chaux) à.	0 .17	—
Le phosphate soluble à.	0 .67	—
La potasse et la soude à.	0 .50	—
Nous estimerons la chaux à.	0 .02	—

On a remarqué que M. Girardin prend des chiffres plus faibles pour estimer l'azote et l'acide phosphorique, et qu'il ne tient pas compte des matières organiques et minérales utiles.

De deux choses l'une : ou bien il faut juger les engrais d'après leurs effets, et ne pas s'en rapporter à l'analyse chimique, ou bien il faut appliquer les mêmes bases, les mêmes principes et les mêmes unités de prix et de mesures pour déterminer, d'après l'analyse, la valeur chimique de tous les engrais.

D'après les données précédentes, on trouve pour valeur du fumier moyen cité par M. Girardin, contenant pour 1,000 kil.

5k87 d'azote à 2 fr. le kil.	11.74
3k64 d'acide phosphorique à 0 40 c.	1.45 6
215k de matières organiques à 0 02 c.	4.30
6k60 de potasse et soude à 0 50 c.	3.30
	20.79 6

Ce qui met le mètre cube, pesant 700 kil., à 14 56.

Il est juste d'observer que ce fumier, d'après la composition chimique, est supérieur en qualité à la plupart des fumiers de ferme, et ne pourrait être pris comme terme de comparaison.

Les auteurs s'accordent généralement pour désigner sous le nom de fumier normal moyen, le fumier de Bechelbroun analysé par M. Boussingault, qui en a fait le point de départ de ses études sur les fumiers.

Ce fumier, produit par des chevaux, des bêtes à cornes et des porcs, contient par 1 000 kil.

Eau....................	793			
Matières organiques.......	142	à 0f .02c	le kil....	2.84
Matières minérales........	65			
Potasse et soude..........	5.2	à 0f .50	—	2.60
Acide phosphorique........	2.0	à 0f .40	—	0.80
Azote..................	4.1	à 2f .00	—	8.20
				14.44

Ce qui met le mètre cube pesant 700 kil. à 10f. 108.

M. Girardin ajoute plus bas à la même page 250, que le prix moyen du fumier s'est beaucoup élevé.

Et il évalue le fumier de cheval à.		10 fr.	les 1 000 kil.	
—	— de mouton à. . . .	13	—	
—	— des bêtes à cornes à	7	—	

Ces nombres sont encore au-dessous des résultats que l'on déduit de l'analyse chimique.

2e *Mode d'estimation des fumiers.*

Par la comparaison avec des matières de vidanges, diluées de beaucoup d'eau, et employées comme essai à la ferme de Vaujours.

Dans sa notice intitulée *De l'assainissement des villes par la fertilisation des campagnes*[1], M. Moll dit avoir fait des expériences, sur trois récoltes successives, pour comparer les effets du fumier et des vidanges diluées d'eau. Il a trouvé égalité de produit, sans avoir égard à la durée de la fumure, entre une tonne de vidange diluée et une tonne de fumier.

D'après M. Moll, une tonne de vidange pure vaut 2 1/2 de vidange diluée d'eau. Ne prenons que deux fois, dit-il, et une tonne de vidange pure vaudra pour l'effet deux tonnes de fumier.

Or, la vidange flamande s'achète en moyenne, très-mélangée d'eau et de matières étrangères, 10 francs par tête et par an. Je prends toujours les chiffres de la notice.

M. Moll admet comme produit annuel 438 kil. de déjections solides et liquides par tête d'homme.

Alors, 1 000 kil. vaudraient donc 22 fr. 83, et si ces 1 000 kil. équivalent à 2 tonnes de fumier, 1 tonne de fumier vaudra 11 fr. 40, soit le mètre cube, 7 98.

3° *Mode d'estimation du fumier de ferme d'après la composition chimique.*

Le tableau A contient les analyses faites par M. Boussingault, de 12 sortes de fumiers, et la valeur de tous ces divers engrais dépasse le prix de 10 fr. les 1 000 kil., et si nous prenons une moyenne générale, nous avons un fumier moyen très-riche contenant par 1 000 kilos :

Eau	709 00
Matières organiques	215 00
— minérales	62 20
Potasse et soude	6 60
Acide phosphorique	3 64
Azote	5 87

Et les 1 000 kil. de ce fumier moyen ressortent à 20f796, ce qui met le mètre cube pesant 700 kil. à 14 fr. 56.

1. *Annales du Conservatoire des Arts et métiers*, n° 15. Janvier 1864.

4° *Mode d'estimation du fumier.*

PRIX DE REVIENT RÉEL.

Enfin il est possible d'obtenir le prix de revient du fumier, c'est-à-dire le prix qui forme la différence entre les frais d'entretien, d'élevage ou d'engraissement, etc., et les produits ou services rendus par l'animal.

En général, la dépense en nourriture est payée par la valeur du produit, de sorte que les autres dépenses représentent la valeur du fumier [1].

En 1852-53, à Grignon, les prix de revient des fumiers ont été calculés d'après cette méthode, et on a trouvé pour 1 000 kil. :

	à la sortie des étables,	rendus dans les terres.
Porcs................	4.42	5.02
Chevaux..............	6.13	7.03
Bêtes à laine d'engrais..	7.03	9.93
Bœufs................	9.64	10.54
Bêtes à laine d'élevage..	10.29	11.19
Vaches...............	13.40	14.30

En prenant une moyenne des cinq années précédentes, M. Bella, le directeur de Grignon, obtenait un prix de revient général de 10f9 les 1 000 kil. sortant des étables, soit 7 fr. 63 le mètre cube, et 11 80 les 1 000 kil., rendus dans les terres, soit 8.26 le mètre cube.

5° *Mode d'estimation d'après les prix payés pour le fumier de cavalerie.*

Voici une cinquième manière d'estimer la valeur d'un fumier. Elle est fondée sur les données expérimentales permettant de calculer la production du fumier, d'après la nourriture et la litière.

Nous adopterons la méthode de M. Heuzé, basée sur des expériences faites en 1842 à Grand-Jouan. Elle consiste à réduire la nourriture et la litière, de quelque nature qu'elles soient, à l'état de siccité, et à multiplier le résultat par un chiffre variable

1. Voir pour ces dépenses l'ouvrage de M. Lecouteux (*Principes de la culture améliorante*), page 171.

avec la nature de l'animal [1]. Pour le cheval, ce multiplicateur est de 1.30.

Appliquons ces chiffres à un fait.

Un cultivateur a acheté le fumier produit pendant un an par 600 chevaux d'une caserne de grosse cavalerie.

Le prix d'adjudication a été de 30 000 fr. Ce cultivateur a cédé la moitié de ce fumier à un de ses voisins pour le prix de 24 000 f.

Ce qui met le fumier des 600 chevaux à. . . . . . . 48 000 f.

Dans le premier cas, le fumier d'un cheval est revenu par jour à. 0f 135

Dans le deuxième cas à. 0 22

Or, la ration journalière d'un cheval de grosse cavalerie est de :

Paille..........	5k	à 90	0/0 de partie sèche.
Foin...........	5	à 85	id.
Avoine.........	4 .80	à 87	id.
Total.......	14 .80		

Le cheval reçoit donc en matière sèche pour sa nourriture :

Paille.	4k 50
Foin.	4 .25
Avoine.....	4 .176
	12 .926

Le fumier produit par tête sera, d'après la règle précédente, par jour, 12,926 × 1 30 = 16k804.

Par an, 16,804 × 365 = 6,133k460.

Mais il faut bien remarquer qu'il y a réduction sur ce poids du fumier, en très-peu de temps, de 30 p. 100, et même de 50 p. 100 [2].

Prenons le chiffre minimum de 30 0/0, et la production du fumier se réduit :

Par an à 4 293k.422

Par jour à 12.763

Pour le prix de 0f135, d'après le 1er chiffre.

— de 0 22, — le 2e —

1. Nous trouvons cette méthode citée et appliquée sur un exemple dans l'ouvrage de M. Bobière, *l'Atmosphère, le Sol et les Engrais*, page 504.

2. Dr Sacc, *Chimie agricole*, page 80.

D'après ces nombres, on déduit que les 1 000 kil. de fumier revenaient *au premier cultivateur*, en achat à. 10f 57
En transport de la caserne à sa ferme (10 kilom.). . 1 50

Valeur des 1 000 kil.	12 07
— du mètre cube de fumier fait, pesant 700 kil.	8 449

Au deuxième cultivateur :

En achat à.	17f 23
En transport à sa ferme à 25 kilom.	3 00
Les 1,000 kil..	20 23
Le mètre cube.	14 161

Ces prix se rapprochent beaucoup de la réalité; cependant ils sont encore inférieurs aux chiffres vrais.

Dans le cahier des charges de la vente de ce fumier, on a stipulé que le régiment aurait le droit de prendre le crotin nécessaire à la piste du manége; de plus, les adjudicataires savent par expérience que ce fumier, pesant 400 kil. le mètre cube au sortir de l'écurie, perd au moins 33 0/0 de son poids.

En été, il est fait au bout de 3 mois.
En hiver — de 2 mois.

La théorie indique 16k804, comme poids du fumier produit par cheval de cavalerie, et par jour, nous croyons être plus dans la réalité et dans la pratique en ne prenant que 15 kil.

En appliquant ces chiffres, résultats de cette expérience particulière, on trouve qu'un cheval de cavalerie produit par jour 15 kil. de fumier, par an $15 \times 365 = 5\,475$ kil.

Si nous tenons compte de la réduction de 33 0/0:

Les 5 475 kil. se réduisent à.	3 668k 25
Les 15 kil. à.	10 05

C'est donc 10k05 payés 0f135 par *le premier cultivateur* et 0f22 par *le deuxième*.

De là on peut déduire que les 1 000 kil. de fumier reviennent *au premier cultivateur :*

En achat à.	13f 43
En transport à 10 kilomètres.	1 50
Total	14 93

Soit le mètre cube pesant 700 kil., 10 fr. 45.

Au deuxième cultivateur :

En achat à. 21 89
En transport à 25 kilomètres. 3 00

Total 24 89

Soit le mètre cube à 19 fr. 423.

En conséquence le prix du fumier de cavalerie varierait entre les chiffres suivants :

Pour les 1 000 kil., de 12 fr. 07 à 24 89.
Pour le mètre cube, de 8 fr. 45 à 17 42.

CONCLUSION.

En résumé, nous trouvons pour valeur du fumier, d'après les 5 modes d'estimation précédents, les chiffres qui suivent :

	LE 1000 KILOG.	LE MÈTRE CUBE.
1er mode............	14f.44 à 20f.»	10f.11 à 14f.56
2e mode............	11 .40	7 .98
3e mode............	20 .796	14 .56
4e mode............	10 .90	7 .63
5e mode............	12 .07 à 24 .87	8 .45 à 17 .42

Cela nous donne une valeur moyenne de 16 fr. 35 pour les 1 000 kil., et de 11 45 pour le mètre cube.

Il résulte de cette étude que la valeur et le prix du fumier sont en réalité beaucoup plus élevés qu'on ne l'admet généralement, et qu'on s'est peu préoccupé de l'un ou de l'autre jusqu'à ce jour, parce que le fumier n'est pas un article de commerce.

Chacun en fait pour soi, et on n'en trouve à acheter que des quantités insignifiantes.

DEUXIÈME PARTIE.

COMPARAISON DE LA CHAUX ANIMALISÉE ET DE LA CHAUX SUPERSATURÉE D'URINE AVEC LE FUMIER NORMAL MOYEN ET DIVERS AUTRES ENGRAIS.

Les agriculteurs qui ont fait l'essai, sur leurs terres, de la chaux animalisée, les personnes qui l'ont vu fabriquer et se sont rendu compte de la forte proportion de matières fécales que cet engrais renferme, n'ont aucun doute sur son efficacité; mais pour beaucoup d'autres, avant l'essai en terre, l'analyse chimique guide et fait loi; jusqu'à ce que les plantes aient donné leur avis pratique, chacun demande qu'on lui donne un engrais contenant de l'azote, des phosphates, des matières organiques et minérales utiles aux plantes, pour trouver cet engrais excellent.

Certes, l'analyse est une base utile, un point de repère important, mais on ne tient peut-être pas assez compte de l'état de combinaison chimique et physique dans lequel se trouvent ces éléments si recherchés, et, par conséquent, on ne s'inquiète pas assez, on ne cherche pas assez à se rendre compte de la disposition plus ou moins grande que ces éléments divers ont de s'assimiler promptement et entièrement aux plantes; et, cependant, en agriculture comme dans toutes les industries, le temps c'est de l'argent, et ce que l'on paye sans en tirer parti, est toujours une perte.

On regarde jusqu'ici le fumier de ferme comme l'engrais le plus complet, dont toutes les parties sont utilisées par le sol ou par les plantes. Nous demandons à démontrer par des analyses que la chaux animalisée, comprenant trois quarts de matières fécales solides et liquides, et un quart de chaux grasse, est un engrais plus complet encore que le fumier des fermes. Les plantes continueront à nous aider dans ces études, elles compléteront, par les résultats obtenus en grande culture, culture maraîchère et horticulture, ce qu'il y aura d'incomplet dans notre travail.

Le tableau B renferme, n° 1, la composition chimique du fumier que nous avons adopté comme fumier normal moyen dans la première partie de ce travail. C'est, comme nous l'avons dit, le fumier de Bechelbroun, pris comme type par M. Boussingault.

Le n° 2 représente la moyenne des 12 fumiers du tableau A; c'est, comparativement au fumier normal moyen, un fumier très-riche.

Les n°s 3, 4, représentent de la chaux animalisée, fabriquée avec de la matière fraîche et de la chaux grasse éteinte avec des eaux vannes ordinaires de vidanges. Les compositions indiquées au tableau résultent d'analyses faites par M. Hervé Mangon et M. Roger.

Quand il sera facile de se procurer des urines fraîches pour éteindre la chaux qui doit servir à la fabrication, on arrivera facilement à une chaux animalisée plus riche, comme celle qui est indiquée aux n°s 5 et 6, et qui ne renferme que de la chaux grasse, de l'urine fraîche et de la matière solide fraîche. L'analyse a été faite par M. Isidore Pierre.

Un bon fumier de ferme contient 65 à 80 0/0 d'eau. La chaux animalisée n'en contient que 30 à 40 0/0, et la différence avec la proportion d'eau du fumier est remplacée dans la chaux animalisée, en grande partie par de la chaux grasse, dont l'utilité en agriculture n'est contestée par personne.

La chaux animalisée peut être séchée de manière à être débarrassée complétement de son eau. Ainsi débarrassée d'un poids inutile, elle se conservera indéfiniment sans perdre aucune de ses qualités. Le fumier, au contraire, doit conserver son eau pour mûrir, et quand il est mûr, il fermente et perd chaque jour en richesse et en quantité, s'il n'est pas employé.

Les matières organiques sont en plus grande proportion dans la chaux animalisée que dans le fumier, elles n'ont subi aucune fermentation; elles sont, d'après leur provenance même et leur composition, admirablement préparées à la nourriture des plantes dont elles proviennent; elles sont naturellement plus riches que celles qui se trouvent dans les fumiers des animaux, puisque l'homme se nourrit mieux que les animaux, et ne portent pas avec elles des graines parasites qui nuisent à leur effet utile, et coûtent argent et temps pour les ôter du sol et en débarrasser les plantes.

L'azote, l'acide phosphorique, en un mot toutes les substances que le chimiste dose pour apprécier la valeur commerciale d'un engrais, sont en plus grande abondance dans la chaux animalisée que dans le fumier et dans un état d'assimilation, non-seule-

ment plus parfait, mais qui est progressif avec les besoins de la plante.

Le tableau donne satisfaction aux personnes qui ne voient que la composition chimique dans un engrais; il permet de comparer la chaux animalisée avec le fumier, les tourteaux, le noir animal, la poudrette, le guano, en ne tenant compte que de l'analyse, et abstraction faite de la valeur commerciale de ces engrais, ainsi que de leur valeur relative d'après leur facilité de conservation, de transport, d'emploi, et l'état plus ou moins parfait de pureté et d'assimilation.

Nous ajoutons au tableau, nos 7, 8, 9, 10, 11, les analyses, faites à l'École des ponts et chaussées, de plusieurs échantillons de chaux supersaturée d'urine ou d'eaux vannes, engrais nouveau qui ne contient que de la chaux grasse et de l'urine ou des eaux vannes choisies, dans la proportion de 3/4 de liquide urineux pour 1/4 de chaux vive.

Il est à remarquer que dans la chaux supersaturée, l'eau se trouve en proportion assez faible, et si l'azote ne se trouve pas en aussi grande abondance dans les produits provenant d'eaux vannes, que dans ceux obtenus avec des urines fraîches, les phosphates s'y trouvent en dose assez forte.

La facilité de la fabrication de la chaux supersaturée, l'utilisation immédiate qu'elle permet, des urines fraîches et même des eaux vannes, liquides généralement perdus jusqu'à ce jour, et enfin le bon effet produit en tout temps sur les plantes par les engrais liquides qui se trouvent, par ces procédés, condensés, rendus transportables et conservables, parlent en faveur de la chaux supersaturée beaucoup mieux que toutes les explications que nous pourrions prodiguer ici.

En regard de la composition chimique de chaque engrais, nous avons indiqué la valeur des éléments utiles calculée d'après les bases posées dans la première partie.

Au bas de chaque colonne se trouve la valeur chimique de chaque engrais pour 1 000 kil. et pour un hectolitre.

Et enfin l'équivalent des engrais par rapport au fumier normal moyen d'après leur contenance en azote, en matières organiques et en minérales utiles.

Le fumier normal moyen étant représenté par 1 000 kil., on

voit qu'il faudrait 694 kil. de fumier n° 2 pour avoir une fumure équivalente à ces 1 000 kil. de fumier moyen.

Il ne faudrait que de 287 à 464 kil. de chaux animalisée de la première série (nos 3 et 4); de 115 à 271 kil. de chaux animalisée de la deuxième série (nos 5 et 6), c'est-à-dire de chaux animalisée ne contenant que de la chaux grasse et des matières solides et liquides fraîches; de 298 à 553 kil. de chaux supersaturée d'urines fraîches (nos 7, 8 et 9); de 433 à 713 kil. de chaux supersaturée d'eaux vannes marquant 3° à l'aréomètre (nos 10 et 11).

Quant à la poudrette il en faudrait de 219 à 327 kil. pour avoir l'équivalent de ces 1 000 kil. de fumier normal moyen.

J'aurais désiré avoir les analyses de poudrettes, faites dans divers laboratoires, depuis plusieurs années, afin de produire des types réels qu'on aurait pu classer en poudrette bonne, moyenne ou inférieure.

Ces documents m'ont manqué; j'ai pris alors des analyses de poudrette de qualité supérieure comme il n'en existe peut-être plus, mais qui sont publiées dans la plupart des traités sur les engrais. Les cultivateurs qui ont les analyses des poudrettes qu'ils ont employées, compareront la réalité avec mon point de départ, et il est plus que probable que leurs chiffres comparatifs élèveront la moyenne des équivalents de fumure au-dessus de 415 kil. La chaux animalisée, telle qu'on peut la fabriquer actuellement, avec des eaux vannes et des matières solides fraîches, a une valeur chimique qui se rapproche de la valeur de la poudrette pure, et dépasse la valeur de la poudrette de médiocre qualité; commercialement, elle est vendue moins cher et elle a l'avantage immense d'utiliser complétement des matières qui sont gaspillées au point qu'il en faut au moins 14 hectolitres pour faire un hectolitre de poudrette pure, c'est-à-dire que c'est, ainsi que l'observe Schwertz, réduire un tombereau d'excréments à la capacité d'une tabatière. Et encore au profit de qui? Certes ce n'est pas au profit de la salubrité publique, puisque les matières fécales demandent une exposition à l'air de 3, 4, 6 et même 7 ans, comme à Bondy, ou tout au moins de plusieurs mois comme dans les autres dépotoirs, où on utilise plus vite les excréments, mais en y mêlant jusqu'à 50 0/0 et au delà de tourbe ou de terreau, pour les assécher, ce qui en augmente la quantité et le volume, au détriment de la valeur agricole.

Au fur et à mesure que les plantes parleront, les administrations municipales préoccupées du soin de rendre le séjour des villes plus salubre et plus agréable, prendront les arrêtés nécessaires pour qu'il soit facile de se procurer des matières fraîches, solides et liquides; alors la fabrication de la chaux animalisée se fera dans de meilleures conditions encore, et les villes pourront livrer aux campagnes un engrais complet et de qualité supérieure.

En examinant le tableau et en rapprochant les effets produits par divers engrais, il viendra à l'esprit de chacun de se demander si l'estimation par l'analyse chimique est le meilleur ou le seul mode de comparaison des engrais.

Nous émettons l'idée que l'analyse chimique, telle qu'on l'a faite jusqu'à ce jour, est un guide, mais nous croyons pouvoir ajouter qu'il n'est ni complet ni infaillible.

En effet, dans des composés azotés des engrais, il y a azote et azote; l'un est assimilable, l'autre ne l'est pas; l'un fonctionne immédiatement ou brusquement, l'autre plus lentement, mais progressivement; enfin l'azote n'est quelquefois pas assimilable, ou bien il n'agira peut-être pas de la même façon sous des températures différentes.

Le grand *docimasiste*, le grand contrôleur et le juge en dernier ressort, sera la plante. La plante seule indiquera d'une manière complète et définitive, si dans tel ou tel sol, sous tel climat, tel engrais est plus avantageux que tel autre.

Quelle conclusion tirer de ce travail et de ces comparaisons d'engrais divers? Celle que, jusqu'à ce jour, on a laissé perdre l'engrais humain, ou qu'on a tiré un bien médiocre parti de ce fumier si riche de l'homme, et que c'est encore au moyen de la chaux animalisée et de la chaux supersaturée d'urine, que l'on rendra le plus de services à la salubrité et à l'agriculture; que cet engrais universel, local, qui se reproduit sans cesse, est encore le mieux conservé et le plus vite rendu disponible et facilement transportable et utilisable. La salubrité sera débarrassée de foyers infects de putréfaction, et l'agriculture sera enrichie par des engrais, qui lui reviennent de droit, dont elle a le plus grand besoin, et dont la nécessité se fait sentir à mesure que la science agricole marche vers le progrès.

TABLEAU A. **Analyse de 1000 kilogr. de fumiers divers, d'après M. Boussingault, et valeur suivant l'analyse.**

COMPOSITION.	1. Fumier de l'École d'agriculture de Grignon.		2. Fumier à demi consommé de Bechelbronn.		3. Fumier à demi consommé de Liebfrauenberg.		4. Fumier bien préparé de la ferme de Merkwiller.		5. Fumier d'une ferme anglaise.		6. Fumier d'une écurie particulière.	
	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.
Eau	705.0	»	793.0	»	830.0	»	744.0	»	650.0	»	606.0	»
Matières organiques	192.0	3.84	142.0	2.84	108.0	2.16	205.0	4.10	247.0	4.94	»	»
Matières minérales	114.0	»	65.0	»	62.0	»	51.0	»	10.3	»	»	»
Potasse et soude	»	»	5.2	2.60	0.97	0.485	4.09	2.045	»	»	»	»
Acide phosphorique	6.12	2.448	2.0	0.80	2.57	1.028	7.18	2.872	7.87	3.148	»	»
Azote	7.2	14.4	4.1	8.20	3.5	7.000	5.00	10 000	6.30	12.600	7.9	15 80
		20f·88		14f 44		10f 673		19f 017		20f 688		15f 80

TABLEAU A.
(Suite.)

Analyse de 1000 kilogr. de fumiers divers, d'après M. Boussingault, et valeur suivant l'analyse.

COMPOSITION.	7. Fumier frais de cheval nourri au foin et à l'avoine et recevant 2 kil. de paille de litière par jour.		8. Fumier frais d'une vache nourrie avec regain de foin et pommes de terre, et recevant 3 kil. de paille de litière par jour.		9. Fumier frais de mouton nourri avec du foin et recevant chaque jour $0^k,225$ de paille de litière.		10. Fumier frais de porc nourri avec des pommes de terre cuites et recevant par jour $0^k,450$ de paille à litière.		11. Fumier frais du Jardin des plantes de Paris.		12. Fumier de la ménagerie de Paris.	
	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.
Eau	674.00	»	818.0	»	616.0	»	728.0	»	668.0	»	668.0	»
Matières organiques	292.50	5.85	164.0	3.28	345.0	6.90	233.0	4.66	280.0	5.60	»	»
Matières minérales	33.5	»	18.0	»	39.0	4.20	39.0	»	52.0	»	»	»
Potasse et soude	7.2	3.60	3.5	1.75	8.4	»	16.9	8.45	»	»	»	»
Acide phosphorique	2.32	0.928	1.29	0.516	2.03	0.812	2.07	0.828	4.0	1.60	2.58	1.032
Azote	6.70	13.40	3.40	6.800	8.2	16.400	7.80	15.600	5.3	10.60	5.3	10.600
		23f 778		12f 346		28f 312		27f 538		17f 80		11f 632

TABLEAU B. **Analyse des 1000 kilogr. d'engrais à comparer. Valeur suivant l'analyse.**

COMPOSITION.	1		2		3		4		5		6	
	FUMIER NORMAL MOYEN. Fumier de Bechelbronn de M. Boussingault.		MOYENNE de 12 fumiers analysés par M. Boussingault.		CHAUX ANIMALISÉE. Matières solides fraîches et eaux-vannes.				CHAUX ANIMALISÉE. Matières solides, fraîches et urines fraîches.			
					Analyse de M. Hervé-Mangon, 12 mai 1863.		Analyse de M. Roger (École des mines), 27 avril 1864.		Analyses de M. Isidore Pierre.			
									A l'état frais.		A l'état sec.	
	Composition.	Valeur.	Composition.	Valeur.	Composition.	Valeur.	Composition.	Valeur.	Composition.	Valeur.	Composition.	Valeur.
Eau	793	»	709	»	410.5	»	225	»	575	»	»	»
Matières organiques	142	2.84	215	4.30	249.1	4.982	140	2.80	159	3.18	374	7.48
Matières minérales	65	»	62.20	»	340.4	»	635	»	266	»	626	»
										Sels alcalins		
Potasse	5.2	2.60	6.60	3.30	1.9	0.247	pas indiqué.	»	30.8	0.154	73	0.365
Soude	»	»										
Chaux	»	»	»	»	283.07	5.674	phosphate de chaux.	»	120	2.40	280	5.60
										Phosphates.		
Acide phosphorique	2	0.80	3.61	1.456	7	2.800	20	3.40	37.80	6.42	89	15.13
Azote	4.10	8.20	5.87	11.740	8.03	16.600	22	44	19.80	39.60	16.60	93.20
Valeur des 1000 kilogr.	14f.14		20f.796		31f.003		50f.20		53f.14		125f.06	
Valeur de l'hectolitre	1f.01		1f.456		2f.33		3f.765		3f.98		9f.38	
Équivalent des engrais rapportés à 1000 kil. de fumier normal moyen	1000		694		464		287		271		115	

TABLEAU B. (*Suite.*) **Analyse des 1000 kilogr. d'engrais à comparer. Valeur suivant l'analyse.**

COMPOSITION.	7		8		9		10		11		12		13		14	
	CHAUX SUPERSATURÉE. — Analyses de M. Hervé-Mangon.										TOURTEAUX.					
	Chaux grasse et urine fraîche.						Chaux grasse et eau-vanne, marquant 3°. Avril 1864.									
	Juin 1862.		Avril 1864.								COLZA.		ŒILLETTE.		LIN.	
			Non sechee.		Sechee.		Non sechee.		Sechee.							
	Compos.	Valeur.	Compos	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.
Eau	169	»	296	»	93.5	»	377.5	»	111.5	»	132	»	110	»	110	»
Matières organiques	247	4.65	180.5	3.514	246.5	4.81	158.5	3.122	235.5	4.638	662	13.21	623	12.46	700	14
Matières minérales	584	»	523.5	»	660	»	484	»	650	»	65	»	125	»	»	»
Potasse. Soude.	7	3.50	6.2	3.10	7.9	3.95	5.80	2.90	7.7	3.85	»	»	»	»	»	»
Chaux	389.50	7.79	349.10	6.98	440.20	8.80	322.80	6.50	433.5	8.67	»	»	»	»	»	»
Acide phosphorique	8.8	3.52	8	3.20	9.90	3.76	7.3	2.92	9.8	3.92	21	8.40	43	17.20	23	8.2
Azote	14.50	29	4.80	9.60	6	12	2.4	4.80	3.6	7.20	55.5	110	70	140	60	120
Valeur des 1000 kil.	48f.46		26f.12		33f.32		20f.24		28f.28		131f.64		169f.66		142f.20	
Valeur de l'hectolitre.	3f.63		1f.96		2f.50		1f.52		2f.12		»		»			
Équivalent des engrais rapportés à 1000 k. de fumier normal moyen	298		553		433		713		510		109		85		101	

TABLEAU B. (*Suite.*) **Analyse des 1000 kilogr. d'engrais à comparer. Valeur suivant l'analyse.**

COMPOSITION.	15		16		17		18		19		20		21	
	NOIR ANIMAL.						POUDRETTE.				GUANO.			
	En grains		Fin neuf avant la clarification.		Fin neuf ayant servi une fois.		de Montfaucon (Soubeiran 1847.)		de Bondy. (L'Hote.)		des îles Jarvis et Baker.		du Perou.	
	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.	Compos.	Valeur.
Eau	108	2.16	113	2.26	320	6.40	280	»	302	»	»	»	137.3	»
Matières organiques	»	»	»	»	»	»	200	5.80	328.1	6.562	»	»	131.6	10.6
Matières minérales	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
							Sels	alcalins					Sels	alcalins
Potasse / Soude	»	»	»	»	»	»	4.3	2.15	21.5	2.79	»	»	79.70	4
Chaux	»	»	»	»	»	»	»	»	67	1.31	»	»	»	»
			Phosphate de chaux.				Ph. de ch.							
Acide phosphorique	817	138.89	722	122.74	537	91.29	3.46	0.59	41.8	16.72	822	139.74	137.60	55
Azote	9.5	19	12.20	24.40	28.3	56.60	17.80	35.60	15.2	30.40	3.20	6.40	135.90	271.80
Valeur des 1000 kilog.	160f.05		149f.40		154f.29		44f.14		65f.77		146f.14		341f.40	
Valeur de l'hectolitre	15f		14f.19		14f.66		2f.87		4f.27		12f.58		31f.70	
Équivalent des engrais rapportés à 1000 kilogrammes de fumier normal moyen	90		96		93		327		219		99		53	

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, 6, rue des Poitevins.

Principaux Articles

QUI PARAITRONT DANS LES PROCHAINS NUMÉROS.

M. TRESCA. — Expériences sur diverses pompes destinées aux irrigations en Égypte.

MM. TRESCA et CH. LABOULAYE. — Recherches expérimentales sur la théorie mécanique de la chaleur.

M. TRESCA. — Procès-verbaux des expériences de mécanique au Conservatoire des arts et métiers.

TABLE DES MATIÈRES

Du 18e Numéro.

(2e *Numéro de la cinquième année*)

MODE DE PUBLICATION.

DES ANNALES DU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS.

Cette publication paraît tous les trois mois depuis le 1er juillet 1860, en cahiers de 12 à 15 feuilles, avec gravures sur cuivre et sur bois.

Le prix de l'abonnement est de 16 francs par an pour toute la France et de 20 francs pour l'Étranger.

Les années précédentes formant chacune 1 fort volume in-8 d'environ 800 pages, avec de nombreuses figures et planches gravées, se vendent chacune séparément 16 francs.

Les numéros se vendent séparément 5 francs.

On s'abonne à l'année courante, ou l'on reçoit *franco* chacune des années publiées,
En adressant *franco* un mandat de 16 francs sur la poste,
A la Librairie scientifique, industrielle et agricole de EUGÈNE LACROIX, éditeur,
15, quai Malaquais, à Paris.

Paris. — Imprimerie de P.-A. Bourdier et Cie, rue des Poitevins.

BIBLIOGRAPHIE LACROIX.

(DEUXIÈME PARTIE.)

CHRONIQUE

COMPTES RENDUS DES OUVRAGES LES PLUS RECOMMANDABLES PUBLIÉS RÉCEMMENT [1].

Les Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers.

La publication des *Annales du Conservatoire des arts et métiers* a été conçue dans la pensée d'aider aux ressources que cette grande institution offrait déjà, par ses cours et par son musée, à l'étude des sciences et des arts utiles.

Il ne nous paraît pas sans intérêt de reproduire, d'après le rapport officiel de M. le général Morin, comme directeur du Conservatoire, l'état numérique des auditeurs présents aux différents cours publics du haut enseignement, professés dans cet établissement depuis l'année 1855-1856 jusqu'à l'année 1862-1863.

ANNÉES.	NOMBRE TOTAL DES LEÇONS.	NOMBRE TOTAL DES AUDITEURS.	NOMBRE MOYEN des AUDITEURS PAR LEÇON.
1855-1856	499	145,957	293
1856-1857	564	154,007	273
1857-1858	567	171,730	298
1858-1859	594	159,087	247
1859-1860	604	161,742	269
1860-1861	590	159,538	270
1861-1862	549	158,319	288
1862-1863	529	176,829	324

Ces résultats montrent que l'enseignement du Conservatoire des

[1] *Avis à MM. les auteurs et éditeurs.* — Il sera rendu compte de tous les ouvrages dont deux exemplaires auront été adressés au bureau de la *Bibliographie.*

arts et métiers a pris dans l'opinion publique une faveur croissante et assez marquée pour que de 1856 à 1863, le nombre des auditeurs des mêmes cours se soit accru de 145,957 à 176,829 ou de 30,872.

Aussi, comme l'avaient espéré les professeurs du Conservatoire au début de leur publication, les *Annales*, plus spécialement consacrées aux applications de la science, ont été accueillies avec empressement. Le public y a cherché — et y a trouvé — les relations des données pratiques et de la théorie, établies à l'aide d'expériences certaines.

Nous rappellerons rapidement les noms des principaux rédacteurs qui ont enrichi les *Annales du Conservatoire* de leurs travaux pendant les quatre premières années de la publication; il est des noms qu'il suffit de citer et qui font autorité dans la science. Ce sont MM. Alcan, Allibert, Barreswil, Baudement, Becquerel, Boquillon, Boussingault, Burat, Chamberlent, Deherain, Faraday, Flachat, de La Gournerie, Hervé-Mangon, Houzeaux, Ch. Laboulaye (directeur de la publication), F.-P. Leroux, Moll, général Morin, Payen, Paris, Péligot, Persoz, Tom Richard, Salvetat, Saint-Edme, Trélat, Tresca, Tylor, etc.

On peut affirmer, sans crainte de se tromper, que toutes les questions importantes se rattachant aux applications des sciences et des arts, à l'industrie, qui se sont présentées depuis quatre ans (et elles sont nombreuses) ont été étudiées au Conservatoire, et que les expériences auxquelles elles ont donné lieu ont été consignées dans les *Annales*. Cette publication constitue donc le véritable musée, — musée toujours tenu au courant — des inventions sanctionnées par la science.

Annales du Génie civil.

Les *Annales du Génie civil* auront bientôt atteint la fin de la troisième année de leur publication. L'éditeur avait dit, dans la préface placée en tête de la première livraison, que cette publication serait l'écho de toutes les nouvelles inventions, de toutes les innovations scientifiques; elle devait rendre compte et donner la description des travaux remarquables d'architecture, d'hydraulique, de mécanique, de chimie et de physique; en résumé, elle devait contenir une suite d'articles théoriques et pratiques sur toutes les branches des sciences qui trouvent leur application dans l'industrie.

Ce programme était vaste : grâce aux travaux de collaborateurs dévoués, l'éditeur a pu tenir ses promesses, et lorsqu'on parcourt avec attention la collection de ces *Annales*, remontant à peine à trois années, on est étonné du grand nombre de travaux sérieux

qu'elle renferme, travaux émanant tous d'hommes spéciaux et compétents.

Nous ne voulons pas commencer une énumération qui nous entraînerait trop loin ; nous dirons seulement que nous avons remarqué de nombreux articles sur les mathématiques pures et appliquées, l'astronomie, les ponts et chaussées, les routes et chemins de fer, les constructions et la navigation maritime et fluviale, l'hydraulique, l'architecture et les constructions civiles, les musées et la métallurgie, la physique et la chimie, les arts mécaniques, les arts et métiers, l'économie industrielle, le génie civil, etc., et nous demanderons s'il est quelqu'un, — à quelque branche des sciences, des arts ou des industries qu'il appartienne, — qui ne trouvera pas sa spécialité représentée dans le texte analytique que nous venons de reproduire ?

Nous terminerons en faisant remarquer que l'éditeur a compris que *succès oblige*. A mesure que les *Annales du Génie civil* se développent, il augmente le nombre et le format des planches qui accompagnent cette publication. Les planches de l'atlas de 1864 sont surtout remarquables par le fini de l'exécution.

Guide pratique d'Hygiène et de Médecine usuelle, par M. le docteur Lunel ; Manuel *pratique* de l'exploitation des chemins de fer par V. Émion, avocat à la Cour de Paris. (Bibliothèque des Professions industrielles et agricoles.)

Le *Guide pratique d'Hygiène et de Médecine usuelle*, de M. le docteur B. Lunel, est conçu à peu près sur le même plan que le *Traité élémentaire* de MM. A. Becquerel et Beaugrand ; mais il est beaucoup plus abrégé. Cet opuscule fait partie de la série publiée par M. E. Lacroix, sous le titre général de *Bibliothèque des Professions industrielles et agricoles*, et qui est, ce me semble, une heureuse imitation des *hand books*, si répandus aujourd'hui en Angleterre. Cette sorte d'encyclopédie, destinée à propager dans toutes les classes de la société les connaissances utiles et positives, ne sera pas, il faut l'espérer, moins bien accueillie en France que ses analogues ne l'ont été chez nos voisins. Le *Guide d'Hygiène* de M. B. Lunel répond parfaitement, dans le fond et dans la forme, au but de l'entreprise. C'est un livre populaire dans la meilleure acception du mot. L'auteur a été bien inspiré en ajoutant à son abrégé d'hygiène un chapitre intitulé *Médecine des accidents*. Il range parmi les accidents un petit nombre d'affections qui surviennent d'ordinaire inopinément, et auxquelles il est bon de pouvoir remédier avec promptitude : l'apoplexie, les convulsions, l'indigestion, la rage, les hémorrhagies, les syncopes, les attaques de

nerfs, le charbon. Le volume se termine par une courte monographie du choléra épidémique.

Qu'on me permette de signaler ici incidemment, comme faisant partie de la même collection, un ouvrage qui, par son sujet, s'éloigne fort du précédent, dont il se rapproche, du reste, par son incontestable utilité; je veux parler du *Manuel pratique de l'exploitation des chemins de fer*, de M. V. Emion. C'est un livre qu'il ne faut pas se hâter de juger par ce qu'on lit sur la couverture. En premier lieu, son titre ferait croire qu'il s'adresse exclusivement aux directeurs et aux ingénieurs des Compagnies qui exploitent les chemins de fer; tandis qu'en réalité il est plutôt à l'usage du public, et apprend aux simples particuliers, aux voyageurs, tout ce qu'il leur importe de savoir sur l'organisation et le service de nos rail-ways.

En second lieu, l'auteur est avocat à la cour de Paris, et son illustre confrère M. Jules Favre lui a fait la galanterie d'une remarquable préface, où l'on retrouve dans l'écrivain les éminentes qualités de l'orateur. On est naturellement porté, en voyant le livre signé par deux membres du barreau de Paris, à supposer que l'exploitation des chemins de fer y est considérée exclusivement sous le point de vue juridique; mais il suffit de le feuilleter pour se convaincre que M. Emion n'a point borné là ses recherches. Tout en s'attachant principalement à faire connaître les droits et devoirs réciproques que les lois et règlements attribuent d'une part aux compagnies et à leurs agents, d'autre part aux voyageurs, il se montre très-entendu dans les travaux qui sont du ressort des administrateurs et des ingénieurs.

A. Mangin.

Exposition de 1862. — Rapports des délégués des ouvriers parisiens à l'Exposition de Londres en 1862, publiés par la Commission ouvrière.

L'envoi de délégués ouvriers à Londres pour examiner les produits industriels de toutes les nations a été la réalisation d'une œuvre qui trace à l'ouvrier une voie nouvelle et pacifique pour faire entendre ses vœux et ses aspirations. Il est intéressant et instructif de voir, dans cette succession de rapports, les délégués juger, avec une grande impartialité, les produits de leurs concurrents étrangers, en signaler les qualités et les défauts, et conclure en indiquant ce que chaque industrie française doit faire pour montrer sa supériorité ou égaler une industrie rivale. Les délégués ont abordé en même temps l'examen de plusieurs problèmes d'é-

conomie sociale, et ils l'ont fait avec une modération de forme qui n'exclut pas la fermeté, parfois la hardiesse du fond.

Ces rapports, dont l'ensemble forme près de 900 pages in-quarto, ne doivent pas seulement être lus : ils méritent d'être médités.

Panorama itinéraire de Paris à Cabourg, par Lisieux, Trouville, Villers-sur-Mer, Houlgate-Beuzeval, Mézidon et Caen, par Ad. Sergent.

Nous sortons un peu de nos spécialités pour parler de ce livre qui appartient à la catégorie des guides des voyageurs, mais nous devons dire que le *Panorama itinéraire* a su se frayer une nouvelle voie, et qu'il diffère essentiellement des guides ordinaires.

Dès les premières pages, on voit que M. Ad. Sergent ne s'est pas



Vue de Cabourg à vol d'oiseau, prise de la vallée d'Auge.

borné à découper çà et là quelques notices sur les localités que traverse le chemin de fer. Il a tout vu, tout visité, tout recueilli. et il veut qu'à notre tour rien ne nous échappe. Il prend comme point de repère les numéros kilométriques indiqués tout le long de la route sur des poteaux spéciaux, ou sur les poteaux du télé-

graphe électrique ; puis, par un signe conventionnel, il vous indique si vous devez regarder à droite ou à gauche pour apercevoir les localités, les monuments qu'il décrit. Il a su grouper ainsi des renseignements sur tout ce que le voyageur voit, sur tout ce qui peut exciter sa curiosité pendant le parcours : villes, châteaux, ruines, forts, usines, rivières, tunnels, viaducs, curiosités. Toutes ces descriptions sont entremêlées de notices, de légendes, d'anecdoctes qui font de ce *Panorama itinéraire* une lecture des plus attrayantes.

De la liberté de la Pharmacie, par M. Arthur Mangin, membre de la Société d'économie politique, rédacteur scientifique du *Journal des Économistes* et de la *Patrie*, etc. — Brochure in-8° de 48 pages.

M. Arthur Mangin soutient dans cette brochure que l'Etat n'a que faire de réglementer l'exercice de la Pharmacie, d'imposer à ceux qui veulent embrasser cette profession des études longues et coûteuses, puis de les astreindre encore à une surveillance étroite. Selon M. Mangin, toute la science des pharmaciens est un luxe inutile; les priviléges que le diplôme leur confère sont onéreux pour le public et sans avantage pour eux-mêmes. Comme conclusion l'auteur voudrait que chacun pût, à ses risques et périls et sous sa responsabilité, ouvrir une officine et y vendre des médicaments avec ou sans ordonnance du médecin.

On le voit, la thèse est hardie, et de telles idées doivent sembler même paradoxales à plusieurs personnes. Quoi qu'il en soit, M. A. Mangin les défend avec talent et conviction. Le nouveau projet de loi sur l'exercice de la médecine, qui s'élabore actuellement au conseil d'État, ajoute d'ailleurs à la valeur intrinsèque de ce travail un intérêt particulier d'actualité.

Choix des vaches laitières, par J. H. Magne, professeur d'agriculture et d'hygiène à l'école impériale vétérinaire d'Alfort.

Ce petit livre, qui est arrivé à sa quatrième édition, a été écrit principalement pour démontrer qu'on avait exagéré l'importance de la découverte de M. Guenon, et qu'on augmentait sans utilité les difficultés de ses applications, en donnant comme nécessaire la classification exposée par M. Guenon, dans le Traité des vaches laitières.

Le *Choix des vaches laitières* fait partie de la *Bibliothèque du cultivateur*, publiée avec le concours du ministre de l'agriculture.

BIBLIOTHÈQUE DES PROFESSIONS INDUSTRIELLES ET AGRICOLES

PUBLIÉE

PAR EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

15, QUAI MALAQUAIS, PARIS.

EXTRAIT DU CATALOGUE DES OUVRAGES PUBLIÉS.

SÉRIE A. *Sciences exactes.*

PERSPECTIVE PRATIQUE, par Ysabeau. 3 fr.

SÉRIE B. *Sciences d'observation.*

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE, par Miège. 2 fr.
CHIMIE ÉLÉMENTAIRE, par Garnier jeune. 2 fr.
ANALYSE QUALITATIVE, par Will. 1 fr. 50
INTRODUCTION A LA CHIMIE, par Liebig. 2 fr. 50
POTASSES, SOUDES, ACIDES, etc., par Frésénius et Will. 2 fr.

SÉRIE C. *Art de l'ingénieur, Ponts et Chaussées, Constructions civiles.*

GÉOMÈTRE ARPENTEUR, par Guy. 3 fr. 50
CONSTRUCTEUR. Maçonnerie, par Demanet, avec atlas. 5 fr.
EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER (Voyageurs et bagages), par V. Emion. 2 fr. 50
DICTIONNAIRE DU CONSTRUCTEUR, par Pernot. 5 fr.
NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES CHEMINS DE FER, par Perdonnet. 5 fr.

SÉRIE D. *Mines et Métallurgie.*

MÉTALLURGIE, par D. et L. 2 fr.
EMPLOI DE L'ACIER, par Dessoye. 3 fr.
ALUMINIUM, par Tissier. 3 fr.
MAITRE DE FORGES, par Pelouze, 2 vol. 5 fr.
MINÉRALOGIE USUELLE, par Drapiez. 2 fr.

SÉRIE F. *Professions militaires et maritimes.*

COMMANDANT DE NAVIRE A VAPEUR, par Vincent. 5 fr.

SÉRIE G. *Professions industrielles.*

FABRICATION DES TISSUS, avec atlas, par Bona. 3 fr.
COMPOSITION DES TISSUS, avec atlas, par le même. 3 fr.
LITERIE, par La Terrière. 2 fr.
CORPS GRAS INDUSTRIELS, par Chateau. 4 fr.
APPAREILS ÉCONOMIQUES DE CHAUFFAGE, par Flamm. 3 fr.
BIJOUTIER, par Moreau. 1 fr.
JOAILLIER, par Barbot. 5 fr.
FABRICATION DE LA PORCELAINE, par Bastenaire d'Audemart.
Tome Ier. Terres, moules, broiement, moulage. 5 fr.
Tome II. Cuisson, émail, dorure et peinture. 5 fr.
PARFUMEUR, par le docteur Lunel. 5 fr.
FABRICATION DU PAPIER, par Prouteaux. 1 vol. et atlas. 4 fr.
ÉPICERIE, par le docteur Lunel. 2 fr.
FABRICATION DES LIQUEURS, par Dubief. 4 fr.
ESSAI ET DOSAGE DES HUILES, par Cailletet. 3 fr.

Série H. *Agriculture, Jardinage, Horticulture, Animaux domestiques, Apiculture, Pisciculture, etc.*

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'AGRICULTURE, par Hervé de Lavaur.	2 fr.
AMÉNAGEMENT DES ANIMAUX, par Gayot.	3 fr.
MACHINES AGRICOLES, par Gaudry.	1 fr.
DRAINAGE, par Kielmann.	1 fr.
CHIMIE AGRICOLE, par Basset.	3 fr.
EDUCATION DES LAPINS, par Mariot Didieux.	2 fr.
— DES POULES, —	3 fr. 50
— DES OIES ET DES CANARDS, —	1 fr. 50
PISCICULTURE, par Carbonnier.	2 fr.
CHASSEUR MÉDECIN, par Clater.	2 fr.
VÉTÉRINAIRE-MARÉCHAL, par Goodwin.	2 fr.
APICULTURE, par Hamet.	3 fr.
CULTURE MARAICHÈRE, par Courtois-Gérard.	3 fr. 50
— DE L'OLIVIER, par Reynaud.	3 fr.
JARDINAGE, par Courtois-Gérard.	3 fr. 50
JARDINS D'AGRÉMENT, par Bona.	2 fr. 50
TAILLE DU ROSIER, par Forney.	2 fr.
ACCLIMATATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES, par le Dr Lunel.	2 fr.
VIDANGE AGRICOLE, par Touchet.	1 fr.

Serie I. *Histoire naturelle, Economie domestique, Comptabilité, Législation, Mélanges.*

FABRICATION DES VINS FACTICES, par Dubief.	1 fr. 50
ECONOMIE DOMESTIQUE, par le docteur Lunel.	1 fr.
HYGIÈNE ET MÉDECINE USUELLE, par le docteur Lunel.	1 fr. 50
ETHNOGRAPHIE, par d'Omalius d'Halloy.	2 fr.
STÉNOGRAPHIE, par Tondeur.	1 fr.

Cette Bibliothèque est composée de NEUF SÉRIES, qui se subdivisent comme suit :

Série A. —	Sciences exactes.	9	vol.
» B. —	Sciences d'observation.	19	»
» C. —	Constructions civiles.	27	»
» D. —	Mines et Métallurgie.	16	»
» E. —	Machines motrices.	7	»
» F. —	Professions militaires et maritimes.	10	»
» G. —	Professions industrielles.	61	»
» H. —	Agriculture, Jardinage, etc.	52	»
» I. —	Economie domestique, Comptabilité, Législation. Mélanges.	18	»

Un grand nombre de *Guides* sont sous presse, d'autres sont en préparation, et M. Lacroix, fondateur de cette Bibliothèque, espère qu'à la fin de l'année 1865 il aura publié sinon tous les volumes qui doivent la composer, au moins tous ceux dont la publication est le plus promptement demandée.

Mise en voie d'exécution au commencement de cette année, cette collection compte déjà plus de 60 volumes ; on peut donc, d'après ce chiffre, se faire une idée de l'activité qu'il a fallu déployer pour arriver en si peu de temps à un pareil résultat.

Tous les livres de la Bibliothèque seront expédiés *franco* contre la réception de leur valeur en un mandat sur la poste, adressé *franco* à l'éditeur, M. E. Lacroix, 15, quai Malaquais.

Le Rédacteur, Eugène LACROIX.

Paris. — Typographie Hennuyer et fils, rue du Boulevard, 7.

Publications scientifiques industrielles de E. Lacroix.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

N° 19. — Janvier 1865. — TOME V. (3e fascicule)

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

1865

Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. le baron Charles **DUPIN**, de l'Académie des Sciences.—M. **LAUSSEDAT**, *suppléant*.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. *Professeur :* M. **DE LA GOURNERIE**, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **TRESCA**, sous-directeur du Conservatoire.

CONSTRUCTIONS CIVILES. *Professeur :* M. **TRÉLAT**, architecte.

PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Edmond **BECQUEREL**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Eug. **PÉLIGOT**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **PAYEN**, de l'Académie des Sciences.

AGRICULTURE. *Professeur :* M. **MOLL**, de la Société impériale d'Agriculture.

CHIMIE AGRICOLE. *Professeur :* M. **BOUSSINGAULT**, de l'Acad. des Sciences.

TRAVAUX AGRICOLES ET GÉNIE RURAL. *Professeur :* M. **HERVÉ MANGON**, Ingénieur des ponts et chaussées.

FILATURE ET TISSAGE. *Professeur :* M. **ALCAN**, ingénieur civil.

TEINTURE, APPRÊT ET IMPRESSION DES TISSUS. *Professeur :* M. **PERSOZ**, directeur de la Condition des soies.

ÉCONOMIE POLITIQUE ET LÉGISLATION INDUSTRIELLE. *Prof.* M. **WOLOWSKI**, de l'Académie des Sciences morales et politiques.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE ET STATISTIQUE. *Professeur :* M. J. **BURAT**.

Professeur honoraire : M. le Général **MORIN**, de l'Académie des Sciences.

Conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers :

MM. le général **MORIN**, directeur du Conservatoire, *président*.
SCHNEIDER, vice-président du Corps législatif, directeur des usines du Creusot, *vice-président*.
TRESCA, sous-directeur du Conservatoire, *secrétaire*.

MM. les **PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE**.

Et MM. **MARY**, inspecteur général des ponts et chaussées.
COUCHE, ingénieur en chef, professeur à l'École impériale des Mines.
DAILLY, de la Société impériale d'Agriculture.
FÉRAY, d'Essonne, manufacturier.
FROMENT, constructeur d'instruments de précision.
HOUEL, ingénieur des usines Cail et Cie.
DIETERLE, ancien chef des travaux d'art à la manufacture impériale de Sèvres.

PAROLES

PRONONCÉES

AU NOM DU CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT

DU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

AUX FUNÉRAILLES DE M. G. FROMENT.

Le Conservatoire a perdu l'un des membres les plus dévoués de son conseil de perfectionnement. M. Gustave Froment vient de succomber, dans sa cinquantième année, à une longue et douloureuse maladie. Les *Annales du Conservatoire* publieront prochainement une notice sur sa vie et ses nombreux travaux, mais il nous a paru convenable de reproduire dès à présent les paroles d'adieu qui lui ont été adressées au nom du Conservatoire par M. Tresca :

Messieurs,

Je viens au nom du conseil de perfectionnement du Conservatoire impérial des Arts et métiers payer son tribut de regrets à la mémoire de notre bien-aimé collègue, Gustave Froment.

Craignant d'être retenu auprès du ministre, M. le général Morin, qui cependant est venu nous rejoindre, n'a pu, comme il se l'était proposé, se charger de ce soin, et en me donnant la mission de le remplacer dans cette pénible circonstance, il a pensé sans doute que mes vieilles relations d'étroite amitié avec Froment me permettraient de vous retracer quelques-uns des détails de sa vie.

J'ai, en effet, ce triste privilége sur nos autres collègues d'être, plus encore qu'eux, frappé dans mes affections par le douloureux événement qui nous réunit.

En 1833, nous étions ensemble au collége, assis l'un à côté de

l'autre, sur le même banc ; nous avons fait ensemble toutes nos études de mathématiques, et lorsque Froment recevait, au concours général de la Sorbonne, la consécration de ses premiers succès dans les sciences physiques, ces succès je les partageais avec lui. Camarades à l'école polytechnique, nous nous sommes retrouvés, sans jamais nous être perdus de vue, au comité des arts mécaniques de la société d'encouragement, dans les jurys de nos grandes expositions, et jusque dans le conseil du Conservatoire, où il m'a été donné de voir accepter son nom, déjà bien connu, aussitôt que je l'avais prononcé. Et cette étroite communauté de carrière, combien elle me rappelle de communautés de sentiments et d'appréciation sur toutes choses.

Je ne pouvais donc, quoiqu'il m'en coûte, me refuser à vous retracer cette vie si laborieuse et si utile.

Mais la carrière de Froment vous la connaissez tous comme moi ; son entrée à l'école polytechnique fut reculée par l'exécution qu'il voulait poursuivre de sa première machine électromotrice. Il l'avait terminée avant de savoir que Jacobi avait déjà réalisé la même idée. Dès sa sortie de l'école, il faisait connaître à l'association philosophique de Manchester, où il étudiait les grandes constructions mécaniques, ses essais sur la fixation des images de la chambre obscure, dix mois avant que l'immortelle découverte de Daguerre ne fut rendue publique.

Ces dispositions naturelles d'investigation, excitées par l'instruction polytechnique, consolidées plus tard par un véritable apprentissage chez Gambey, devaient suivre Froment dans toute sa carrière.

Vous jugerez de son habileté manuelle, lorsque vous saurez qu'il se jouait de cette opération, réputée pour miraculeuse, de fendre, dans toute sa longueur, un cheveu en quatre ou de percer un trou de foret d'un bout à l'autre d'une aiguille à coudre. C'est lui qui a exécuté, de ses propres mains, cette machine charmante qui, à son commandement, mais sans aucune surveillance extérieure, divise exactement le millimètre en mille parties égales. Pour l'exposition de 1851, il avait écrit, dans un cercle de ce même diamètre, les armes et la devise de l'Angleterre en caractères microscopiques vraiment parfaits.

Ces détails ne sont pas puérils, car ce parti pris de vaincre toutes les difficultés, cet amour de la perfection qu'il portait sur

toutes choses, ont conduit Froment à des œuvres bien autrement importantes et à l'exécution de cet atelier modèle, doté, pour chaque emploi spécial, de ces bijoux mécaniques dans lesquels aucun détail n'a été négligé.

A l'occasion du prix de 50 000 fr. décerné l'année dernière au nom de l'empereur, M. le Ministre de l'instruction publique s'exprimait ainsi :

« La commission m'a prié, par l'organe de son président, de signaler, à la bienveillance de l'Empereur, M. Froment, qui n'a cessé de consacrer honorablement son temps et sa fortune à la poursuite et à la réalisation de toutes les idées relatives aux mécanismes électriques, et qui, par ses conceptions ingénieuses et par la parfaite exécution de ses appareils, s'est acquis la reconnaissance universelle des savants, des artistes et des inventeurs. »

Aucun éloge funèbre ne saurait rien ajouter à cet éloge qui a précédé la mort de six mois. La peinture est parfaitement exacte. Elle montre bien notre camarade s'occupant sans relâche de ses nombreuses inventions, de ses moteurs électriques, de ses télégraphes, de ses compteurs, de ses machines à diviser, de ses appareils de comparaison, de ses instruments d'optique. Elle laisse voir sa coopération dans les belles expériences de M. Fizeau et de M. Foucault, de M. Lissajous et de tant d'autres. Elle signale son dévouement désintéressé lorsqu'il s'occupe du métier Bonelli, ou des télégraphes les plus modernes, pour lesquels, qu'ils s'appellent du nom du professeur Hughes ou du nom de l'abbé Caselli, l'intervention de l'éminent constructeur était indispensable.

Aussi quelle confiance, nous devrons même dire quelle reconnaissance, de la part de ceux dont il suivait les intérêts plus encore que les siens propres !

Froment construisait depuis longtemps toutes les boussoles de la Marine, qu'il avait ramenées à un type unique. L'administration des télégraphes avait exceptionnellement établi un fil spécial pour correspondre à toute heure avec lui.

Jamais autant de patience (elle était inépuisable) n'a été aussi libéralement mise au service de l'esprit d'invention.

Jamais autant d'habileté manuelle n'a été jointe à une connaissance plus intime des nécessités pratiques.

Jamais autant de savoir n'a été uni à autant de modestie.

Mais n'offensons pas cette modestie, même après la perte que nous avons faite. S'il était encore au milieu de nous, il se troublerait, comme il avait coutume de le faire, des éloges les plus mérités. Pensons plutôt à ce qui occuperait notre ami si sa présence pouvait être autre chose désormais qu'une triste et trompeuse illusion.

Demandons-nous ce que vont devenir ces précieux instruments qui l'ont si exclusivement occupé, et qui sont avec le souvenir de son caractère bon, loyal et sympathique, tout ce qui nous reste de lui.

Ces merveilles ne doivent pas être perdues pour la France; une parole célèbre a dit déjà qu'elles constituaient un véritable Conservatoire.

L'Empereur qui, dans plusieurs occasions, s'est intéressé aux travaux de Froment, et qui a visité ces magnifiques ateliers, privés aujourd'hui de leur direction, ne laissera pas périr son œuvre, car il s'y trouve des pièces capitales auxquelles Froment a su donner une parcelle de son intelligence et qu'il a dotées, avec une rare perfection, d'une vie automatique, qui est comme une émanation de la sienne; elles sont inséparables désormais de l'histoire scientifique et industrielle de notre âge.

L'espoir que nous osons exprimer à cet égard doit être, s'il nous entend, notre meilleur adieu à notre excellent camarade. Adieu, Froment!

NOTE

SUR UN

ANÉMOMÈTRE TOTALISATEUR

A COMPTEUR ÉLECTRIQUE.

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Dans la séance du 10 février 1862, j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie des sciences un anémomètre totalisateur construit sur mes indications générales, par M. Bianchi, et qui permet d'obtenir pendant un temps fort long les nombres de tours faits par les ailettes et par conséquent la vitesse d'un courant d'air. Mon but avait été de fournir aux grands établissements, tels que les hôpitaux, un moyen facile de contrôler la régularité du service de la ventilation, et le compteur établi à la manière ordinaire avait, à cet effet, un nombre de cadrans qui permettait de continuer les observations, pendant un ou même plusieurs mois, sans déplacer l'appareil, s'il n'éprouvait aucune avarie.

Après avoir été soumis à des observations préliminaires qui avaient donné pour sa tare la formule :

$$V = 0^{m}.40 + 0.143N,$$

cet anémomètre a été placé dans la cheminée de ventilation de l'un des pavillons de l'hôpital Lariboisière et abandonné à l'action du courant d'air évacué par cette cheminée.

Pendant les premiers jours, il a fonctionné régulièrement, et sa sensibilité n'a pas paru altérée. Mais bientôt les poussières imperceptibles et légères qu'entraînait le courant d'air se sont accumulées sur sa vis sans fin, sur sa première roue d'engrenage et sur ses pivots, et, après avoir retardé le mouvement de l'appareil, ont fini par l'arrêter complétement.

Pour éviter cet inconvénient, l'on a renfermé les premiers

rouages dans une boîte qui ne laissait plus à l'air qu'un passage très-restreint, et, pour empêcher les poussières d'atteindre les pivots, on les a disposés dans des boîtes remplies d'huile, où ils baignent continuellement, et qui contiennent assez de liquide pour que l'introduction même d'une quantité notable de poussière ne puisse en altérer sensiblement la fluidité.

Le pivot supérieur porte sa boîte qui lui est fixée et qui tourne avec l'axe. La vis destinée à servir d'appui à ce pivot traverse une pièce fixe qui recouvre exactement le vase et en approche à un demi-millimètre au moins. On remarquera d'ailleurs que le poids de l'arbre et de ses ailettes étant presque toujours supérieur à l'effort du courant d'air, le pivot supérieur ne pressera pas ordinairement sur sa vis d'appui.

Le pivot inférieur ne porte qu'une embase qui vient affleurer le vase contenant l'huile, lequel est fixé sur la vis formant crapaudine.

Les couvercles des réservoirs d'huile et les embases de l'axe ont pour objet et pour effet d'écarter, par l'action de la force centrifuge, les poussières entraînées par l'air, de sorte que les huiles restent pures. C'est ce que l'expérience a montré sur un appareil de ce genre, qui avait séjourné longtemps dans un courant d'air.

Le constructeur, M. Bianchi, a cru devoir substituer aux embases planes dont on vient de parler de petits moulinets à ailettes hélicoïdes destinés à produire un effet analogue.

Malgré les garanties que semblaient offrir ces dispositions et l'obstacle que la boîte enveloppant la vis sans fin et l'engrenage doivent apporter à l'introduction de la poussière et par suite à l'accroissement des résistances, craignant que, par un séjour prolongé dans des cheminées d'appel ou dans des cheminées ordinaires, l'appareil ne s'encrassât trop promptement, et que la multiplicité des rouages à faire mouvoir par l'arbre même des ailettes ne devînt alors une cause de résistance qui altérât notablement la sensibilité de l'instrument, il m'a semblé qu'il y avait lieu de faire construire un anémomètre totalisateur à compteur électrique, comme l'a proposé M. de Derschau, ingénieur russe, dans une communication faite à l'Académie des sciences, le 8 décembre 1862.

J'avais écrit à cet effet à M. de Derschau; mais n'en ayant pas reçu de réponse, faute sans doute d'avoir bien adressé ma lettre,

j'ai eu recours au talent de M. Hardy, habile constructeur d'instruments de physique, qui a résolu de la manière suivante le problème dont je lui avais donné les bases[1].

Anémomètre totalisateur, à axe horizontal, à compteur électrique, exécuté par M. Hardy. L'appareil se compose (pl. XXIII) d'un arbre en acier portant six ailettes en aluminium, de forme hélicoïdale, ayant un diamètre extérieur de 0m.21, et un diamètre intérieur de 0m.05. La largeur de ces ailettes mesurée sur leur bord est de 0m.065 à l'extérieur et de 0m.055 à l'intérieur. Leur surface gauche est donc d'environ 0mq.0032, et les six ailettes offrent à l'action de l'air une surface totale de 0mq.0192.

La vitesse de rotation de l'arbre, même sous l'action de vitesses assez faibles de l'air, devant devenir trop considérable pour que les communications électriques pussent être établies directement par cet arbre, il a été nécessaire d'employer un engrenage intermédiaire faisant marcher plus lentement une roue destinée à établir les contacts.

A cet effet, l'arbre (pl. XXIII, fig. 3 et 4) porte un petit pignon de 12 dents, qui engrène avec une roue de 72; sur l'axe de celle-ci est monté un autre pignon de six dents, qui conduit une roue de 100 dents, dont l'arbre fait par conséquent un tour pour 100 tours du moulinet. Cette vitesse est d'ailleurs assez grande, même quand celle de l'air est faible, puisqu'il suffit alors de prolonger l'expérience pendant quelques minutes pour obtenir des résultats convenablement exacts pour les expériences de ce genre.

Les communications électriques entre l'arbre des ailettes, et le compteur ont été très-ingénieusement établies par M. Hardy, de la manière suivante :

La boîte des contacts contient deux ressorts *g* et *g'*, qui, selon le sens du mouvement des ailettes, sont, par l'intermédiaire d'un petit ressort auxiliaire *p*, mis en communication avec deux fils conducteurs, dont l'un aboutit à une paire d'électro-aimants,

1. Je dois ajouter qu'au moment où cette note va paraître, je viens de recevoir non-seulement de M. Derschau une réponse à ma lettre, mais encore un instrument complet qu'il a eu la gracieuseté de m'offrir pour les collections du Conservatoire, et que je soumettrai prochainement à des expériences comparatives (10 février 1865.)

qui, par leur action, font marcher le compteur dans un sens, et dont l'autre est en communication avec une autre paire d'électro-aimants, dont la pièce mobile placée en dessous agit en sens contraire sur la roue à minutes du compteur, en lui faisant ainsi opérer naturellement la soustraction du nombre de tours correspondant à la marche renversée de la ventilation (pl. XXIII, fig. 5 et 6).

Si l'on voulait tenir compte séparément des nombres de tours, ou, ce qui revient au même, des volumes d'air extraits et rentrés, il suffirait d'avoir un compteur particulier correspondant à chaque paire d'électro-aimants ou à chaque fil; de sorte que l'un des deux compteurs donnerait les nombres de tours correspondant à l'évacuation, et l'autre les nombres de tours relatifs à la rentrée, s'il s'en produisait; ce qui, d'ailleurs, ne devrait jamais arriver dans un service bien fait.

Nous ferons cependant remarquer que, quand un semblable anémomètre sera employé comme moyen de contrôle de la marche du service de la ventilation, un seul compteur, opérant l'addition des nombres de tours faits dans un sens et la soustraction du nombre de ceux qui seraient faits en un sens contraire, serait nécessaire pour faire connaître par ses indications si l'extraction de l'air a eu lieu régulièrement, puisque, pour constater ce résultat, le nombre de tours des ailettes dans un temps donné doit atteindre un minimum connue à l'avance.

L'appareil que nous venons de décrire fonctionne avec une seule pile du système de M. Marié Davy, au sulfate de mercure, avec eau acidulée et qui peut servir pendant plusieurs mois, sans autre soin que de l'alimenter d'eau, au moyen de deux courants qui sont alternativement fermés ou ouverts. Le fil conducteur de chacun d'eux aboutit d'une part au pied de la monture même du moulinet, et de l'autre à l'électro-aimant qui lui correspond.

Chacune des paires d'électro-aimants entraîne dans le mouvement produit par le courant un cliquet ou pied-de-biche qui, pour l'un d'eux est en dessus, et pour l'autre en dessous de la première roue, de sorte que, selon que le mouvement marche dans un sens ou dans l'autre, il passe à chaque contact une dent de cette roue en dessus ou en dessous. Le nombre des dents dont la roue a définitivement marché est donc égal à l'excès du nombre des contacts de l'un des électro-aimants sur ceux de l'autre

ou à l'excès du nombre de centaines de tours faits par les ailettes dans un sens sur celui des tours qu'elles ont faits en sens contraire.

Le compteur a cinq cadrans, dont le premier donne les centaines de tours du moulinet jusqu'à 10 000, le second depuis 10 000 jusqu'à 100 000, le troisième de 100 000 à 1 000 000, le quatrième de 1 000 000 à 10 000 000, et le cinquième de 10 000 000 à 100 000 000.

Dans le cas d'une vitesse de 3 mètres en une seconde dans la cheminée d'évacuation, ce qui est rare et très-suffisant pour assurer la stabilité de la ventilation, ce compteur pourrait suffire pour observer pendant plus de deux mois, sans ramener les cadrans au zéro.

La tare d'un semblable appareil, dont le poids est assez considérable, ne pouvant, sans quelque difficulté et sans une installation spéciale, se faire par le procédé ordinaire, j'ai eu recours à un moyen particulier. Un tuyau de $1^m.00$ de diamètre et haut de $4^m.70$ a été établi verticalement sur un petit massif circulaire en maçonnerie, soumis d'un côté au courant d'air fourni par un ventilateur dont on pouvait faire varier la vitesse à volonté. Sur le massif en maçonnerie et au bas du tuyau, un grillage en bois, offrant un grand nombre de passages à l'air, a été disposé pour éteindre les mouvements de tourbillonnement et obliger tous les filets fluides à pénétrer dans le tuyau dans des directions à très-peu près parallèles et avec des vitesses peu différentes. L'on se proposait d'ailleurs de multiplier assez ces grillages, si cela eût été nécessaire, pour que ce résultat fût complétement obtenu; mais des expériences préliminaires faites avec des anémomètres très-mobiles ont montré qu'un seul grillage suffisait.

L'anémomètre à tarer a été placé de manière que son axe coïncidât avec celui du tuyau, et les communications avec le compteur placé sur le sol étant établies, l'on a observé les nombres de tours indiqués par ce compteur lorsque le courant avait des vitesses que l'on déterminait directement avec un petit anémomètre portatif très-sensible.

En répétant les opérations un nombre suffisant de fois et avec des vitesses très-diverses, l'on a obtenu pour la tare de l'anémomètre à axe vertical la formule :

$$V = 0^m.22 + 0^m.175\,N.$$

Afin de s'assurer que les dispositions prises pour éviter l'altération des huiles et l'introduction des poussières avaient atteint le but désiré, l'on a laissé pendant près de deux mois l'appareil dans le tuyau établi pour exécuter la tare et par conséquent exposé à la poussière considérable que peut entraîner le ventilateur, qui marche toujours quand les galeries sont ouvertes au public.

Après ce laps de temps, une nouvelle opération de tarage a conduit à la même formule que précédemment.

L'on voit donc que l'appareil peut être employé avec sécurité pour des observations prolongées, et principalement pour constater la régularité d'un service de ventilation.

Si l'on y joignait un appareil chronométrique indiquant les heures sur les cadrans, on pourrait recueillir sans peine des observations sur le régime des vents.

On remarquera que le compteur de tours peut être placé à telle distance que l'on veut de l'anémomètre, et par conséquent dans le cabinet même du chef de l'établissement, qui, sans se déplacer, peut savoir si le service de la ventilation a été régulièrement fait, soit pendant le jour, soit pendant la nuit.

Ce contrôle n'exige pas, d'ailleurs, que la personne qui l'exerce ait une connaissance exacte du jeu de l'appareil. Il suffit qu'elle sache que, quand le service de la ventilation est fait dans les conditions prescrites, les nombres de tours lus sur les cadrans, et correspondant à une heure ou à une période de douze heures, doivent avoir une valeur déterminée, tout chiffre inférieur indiquant une ventilation trop faible. Ainsi, par exemple, si l'appareil était placé dans l'une des cheminées d'évacuation d'un des pavillons ventilés par appel, à l'hôpital Lariboisière, à la hauteur où nous avons fait des observations en 1862, et dont la section avait $2^{mq}.36$ de surface, il est facile d'établir le calcul du nombre de tours que devrait faire par heure l'anémomètre que nous venons de décrire, pour que le volume d'air vicié évacué fût au moins de 60^{mc}. par heure pour chacun des 102 lits que contient ce pavillon.

En effet, le volume total à évacuer étant de

$$60 \times 102 = 6120^{mc}. \text{ par heure,}$$

et la section d'observation étant de $2^{mq}.36$, la vitesse moyenne en

une seconde devrait au minimum être de $\frac{6120}{3600 \times 2.36} = 0^m.725$.

La formule de l'anémomètre étant :

$$V = 0^m.22 + 0^m.175N,$$

le nombre de tours des ailettes en une seconde correspondant à $V = 0^m.725$ serait :

$$N = \frac{0.725 - 0.22}{0.175} = 2.88 \text{ en } 1''.$$

Par conséquent, le nombre de tours par heure serait :

$$2.88 \times 3600 = 10368,$$

ou, en 12 heures, de 124416.

Ainsi toutes les fois qu'en observant toutes les 12 heures, c'est-à-dire le matin et le soir, le nombre de tours indiqué par le compteur pour cette période sera inférieur à 124000, on pourra accuser le chauffeur de n'avoir pas conduit son feu avec le soin convenable.

Il est bien vrai que cet agent pourrait réparer sa négligence de quelques heures au moyen d'un surcroît d'activité du feu pendant un autre intervalle; mais ce serait déjà beaucoup de pouvoir, par un moyen d'observation si simple, l'obliger à veiller lui-même à la régularité de son service.

Il est d'ailleurs évident que, malgré les dispositions adoptées et les précautions prises, un appareil de ce genre peut, comme tout autre, se déranger et qu'il devra de temps en temps être visité, nettoyé et taré de nouveau. Mais cette sujétion ne serait ni grande ni gênante, car en le visitant une fois par mois et en contrôlant ses indications avec un anémomètre portatif déjà taré, on reconnaîtra de suite s'il continue à fonctionner régulièrement ou s'il a besoin d'être nettoyé.

Nous croyons donc que tel qu'il est l'instrument que nous venons de décrire peut rendre des services et devrait dès à présent être mis à l'essai dans un hôpital, où il sera plus que partout ailleurs peut-être exposé à être altéré par les émanations et les poussières.

Nous ajouterons enfin que l'appareil que nous venons de décrire fonctionne régulièrement depuis deux mois, dans la galerie d'évacuation de l'air vicié du grand amphithéâtre du

Conservatoire des Arts et métiers, où il est exposé à un courant d'air de plus de $1^m.50$ de vitesse par seconde, entraînant avec lui une grande quantité de poussière incessamment produite par la circulation d'un public dont le nombre excède souvent 700 personnes pour un même cours.

Le compteur électrique est placé dans un cabinet attenant à l'amphithéâtre, et chaque jour le surveillant des cours, sans toucher à l'appareil, dont le jeu lui est complétement inconnu, lit sur les cadrans les nombres marqués au commencement et à la fin d'une heure de séance de cours. La différence de ces deux nombres lui donne pendant cette heure le nombre de centaines de tours de l'anénomètre, qu'il se borne à inscrire sur un registre. De ces nombres, à l'aide d'une table préparée à l'avance, on déduit le volume d'air total évacué de l'amphithéâtre et l'on reconnaît ainsi facilement que le service du foyer d'appel a été convenablement fait.

A la date du 20 janvier 1865, où nous écrivons ces lignes, cet appareil fonctionne régulièrement depuis le 12 novembre 1864 Sa marche a toujours fourni une indication fidèle de celle de l'évacuation de l'air, ainsi qu'on s'en est assuré en faisant à diverses reprises, à l'aide d'un anémomètre léger, des observations directes sur la vitesse de l'air dans les galeries d'évacuation.

En effet, en comparant à diverses reprises les indications de l'appareil compteur avec celles d'un anémomètre léger construit par M. Clair et taré spécialement, l'on a obtenu les résultats suivants :

DATES.	NOMBRE de jours de service.	VITESSE INDIQUÉE par l'anémomètre.		DIFFÉRENCE de vitesse observée.	
		Totalisateur	Clair.	Absolue.	Proportionnelle.
L'appareil n'ayant pas été nettoyé.					
15 décembre 1864.	33	$2^m.073$	$2^m.073$	0.000	0
7 janvier 1865...	56	0 .922	1 .006	— 0.084	$\frac{1}{12}$
		1 .435	1 .527	— 0.082	$\frac{1}{18}$
L'instrument ayant été nettoyé.					
10 janvier 1865...	59	$0^m.913$	$0^m.904$	+ 0.009	$\frac{1}{101}$

Ces vérifications prouvent :

1° Que l'appareil peut marcher un mois de suite sans que ses indications soient altérées par la présence des poussières que l'air entraîne incessamment;

2° Qu'après deux mois environ de marche continue, sans que l'appareil ait été nettoyé ni visité, sa sensibilité n'est altérée au plus que de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{18}$; ce qui paraît encore un degré de précision bien suffisant pour la pratique;

3° Qu'en nettoyant l'appareil et en renouvelant les huiles après deux mois de service, on lui rend toute sa sensibilité primitive.

Nous ajouterons, en terminant, que l'emploi de moyens analogues, automatiques et indépendants de l'exactitude et de la volonté des agents chargés du service est absolument indispensable, non-seulement pour s'assurer de la régularité du service, mais encore pour permettre d'apprécier les résultats généraux des appareils de ventilation employés dans beaucoup de cas, et surtout en ce qui concerne les hôpitaux.

Les opinions des médecins sont avec raison fort partagées sur les effets que les divers systèmes de ventilation employés dans les hôpitaux ont pu produire sur la santé des malades. Mais ce qu'ils ignorent et ce que l'administration de l'Assistance publique elle-même ne sait et n'a pu savoir jusqu'ici, c'est le degré plus ou moins grand de régularité et d'énergie avec lequel ces appareils ont fonctionné à l'état normal.

L'on a bien pu constater par des expériences spéciales les résultats qu'il est possible d'obtenir de tel ou tel dispositif, selon qu'il fonctionne dans des conditions plus ou moins favorables. dont parfois l'on n'a pas tenu assez de compte, mais il n'a pas été organisé de moyens de contrôle qui assurassent la régularité du service, et il ne serait pas difficile de montrer par des exemples, combien il peut se produire et il se produit en effet d'irrégularités et d'anomalies dans la marche de la ventilation.

Je ne veux faire de ces observations aucun sujet de critique du service de l'administration de l'Assistance publique, mais j'ai cru devoir les formuler pour appeler son attention sérieuse sur

la nécessité d'un contrôle incessant, et pour prémunir en même temps les médecins contre des tendances très-naturelles à tirer des minces résultats hygiéniques obtenus à la suite de grandes dépenses, des conclusions peu fondées contre l'efficacité d'une ventilation bien ordonnée et convenablement conduite.

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA PLANCHE XXIII.

Fig. 1. *a* arbre du moulinet avec ses ailettes en aluminium.
b boîte des premières transmissions de mouvement et des contacts électriques.

Fig. 2. *a* et *b* boîtes à huile des pivots.

Fig. 3. Élévation de la boîte des transmissions et des contacts électriques.

Fig. 4. Plan de cette boîte.
a 1[er] pignon de 12 dents.
b 1[re] roue de 72 dents.
c 2[e] pignon de 6 dents.
d 2[e] roue de 100 dents.
e goupille des contacts.
p et *p'* ressort auxiliaire pour la transmission des courants.
g et *g'* ressort de transmission des courants.

Fig. 5 et 6. Élévation et plan du compteur.
a et *a'* pieds de biche conduisant le compteur dans un sens ou dans l'autre, selon la marche des ailettes.

SUR L'ASSAINISSEMENT DES VAISSEAUX

ET LA

CONSERVATION DES CHARPENTES.

Par M. A. PAYEN.

Historique. — Assainissement des entre-ponts et de la cale des vaisseaux. — Qualités des bois de la marine. — Conservation de la coque en bois des navires. — Perfectionnement dans la dessiccation des charpentes. — Applications aux constructions civiles, aux traverses. poteaux télégraphiques et ustensiles de l'agriculture.

Depuis très-longtemps on a reconnu diverses causes d'insalubrité qui compromettent la santé et la vie des équipages et des passagers durant les voyages de long cours sur mer.

Ainsi se trouvèrent posés quelques grands problèmes d'hygiène que la science aujourd'hui permet d'aborder et de résoudre.

Dans ces derniers temps les nouvelles dispositions des navires cuirassés ont introduit des conditions particulières dans les constructions navales, qui occasionnent le prompt dépérissement des coques en bois. Ce fut alors qu'une invention remarquable dont nous sommes heureux de pouvoir rendre compte, vint ajouter des moyens, prompts et efficaces, de préserver les différentes pièces de bois qui entrent dans ces grandes et dispendieuses constructions.

Au double point de vue de l'assainissement des cales et entreponts des navires et de la conservation de leurs coques en bois, nous exposerons, en quelques mots, les faits historiques qui ont préparé les voies de la solution de ces problèmes de salubrité et d'économie publiques.

On sait depuis très-longtemps que l'air dans certaines conditions plus ou moins bien déterminées occasionne des troubles

dans la santé des hommes. Il y a plus de 2000 ans (460 ans avant l'ère chrétienne), Hippocrate attribuait à l'air atmosphérique les plus grandes influences sur l'état physique de notre corps et la principale source des maladies.

« *Aer est omnium res morborumque causa.* »

Pour ce médecin fameux, si profond observateur, les maladies pouvaient tirer leur origine des grands changements de température et des excès de sécheresse ou d'humidité de l'air :

A calido supra modum caleficiente, a frigido supra modum refrigerente, a sicco plus æquo resiccante et humido etiam plus æquo humectante.

Il cite des faits nombreux montrant combien de maladies sont dues aux différents états de l'atmosphère : il se trouve par là conduit à conseiller, dans l'apparition des maladies générales qui s'emparent d'une ville ou d'une localité quelconque, de chasser l'air morbifique en allumant de grands feux. Ne voit-on pas dans cette indication le germe de la pensée féconde d'extraire des lieux malsains l'air vicié pour le remplacer par de l'air neuf?

Les meilleurs systèmes de ventilation et d'assainissement des lieux habités s'accordent avec cette pensée. Agricola, en 1521, voulant améliorer, sous ce rapport, l'exploitation des mines et amoindrir les dangers des émanations des gaz délétères imagina de déterminer des courants d'air au moyen du feu ; telle est l'origine de l'un des meilleurs moyens de ventiler des mines.

En 1669, Glauber fit circuler l'air, pris à l'extérieur, dans des tuyaux échauffés, et construisit des fourneaux dans lesquels la combustion était alimentée par des conduits de l'air tiré des caves et des puits.

Le cardinal de Polignac, sous le pseudonyme de Gaugé, démontra, en 1715, les principes élémentaires sur lesquels se fonde la construction des calorifères et des ventilateurs; il indiqua le mouvement ascensionnel de l'air en raison de sa raréfaction qui le rend plus léger, les variations du thermomètre aux différentes places et hauteurs dans une chambre et les moyens de les corriger en donnant à l'air des accès ménagés; il fit voir comment on peut mesurer la vitesse de l'air afin d'évaluer la quantité introduite par une ouverture donnée.

En 1718 Desaguilliers publia, en Angleterre, une traduction de l'ouvrage de Gaugé, ajoutant que l'on pouvait substituer avec

avantage la houille au bois. Cinq ans plus tard il fit une première application de l'invention de Gaugé pour ventiler et purifier l'air de la chambre des communes pendant les séances.

En 1736, il remplaça ce mode d'assainissement par une roue centrifuge, simple ou double, qui pouvait à volonté attirer au dehors l'air vicié de la salle ou y introduire l'air extérieur, ou même produire ces deux effets simultanément. Cette machine était mue par un homme auquel on donna le nom de *ventilateur*, et qui agissait conformément aux ordres transmis de la part du *Speaker*.

Sutton conçut en 1739 l'idée de renouveler l'air dans les cales et les entre-ponts des navires en se basant sur cette observation fondamentale que dans une chambre munie de trois cheminées, toutes les portes et fenêtres étant closes, si l'on allume du feu dans deux de ces cheminées, l'air extérieur entre et se précipite avec force par la troisième.

Sutton rencontra dans l'exécution de son utile projet les plus vives oppositions de la part des marins qui cependant étaient directement intéressés à l'assainissement de toutes les parties basses des vaisseaux où se développent les germes de tant de maladies, aussi bien que les propagules des êtres microscopiques qui, à l'aide de la chaleur entretenue dans la cale, occasionnent les altérations des bois. Établissant un parallèle entre sa machine à feu et le ventilateur à bras de Hales, il dit que ce dernier moyen coûte de la main-d'œuvre, tandis que l'emploi de son appareil ne coûte rien puisque l'effet est produit par le feu nécessaire aux usages du vaisseau, et que cet effet est continu.

La machine à feu de Sutton fut établie en 1753 dans les mines de houille de Balleroi; elle y eut un plein succès.

Le traité de Hales est relatif à la ventilation pour assainir l'air des habitations, et dessécher les grains, le houblon, les plumes, le drap, la poudre, etc., etc.; ses procédés furent avantageusement appliqués pour l'assainissement des prisons et des hôpitaux en Angleterre. Il indiqua des précautions de ce genre pour prévenir le développement des maladies si fréquentes sur les vaisseaux.

Les procédés d'assainissement par ventilation ont été réunis et recommandés en 1748 par Duhamel Dumonceau, dans un ouvrage sur les moyens de conserver la santé parmi les équipages

des navires. Il introduisit plusieurs perfectionnements notables et en particulier conseilla d'élargir toutes les ouvertures, en se fondant sur ce principe que la pression nécessaire pour faire entrer l'air par d'étroits orifices augmente la force à dépenser, diminue l'effet utile et la régularité du renouvellement[1].

Toutefois, malgré leurs perfectionnements successifs, ces procédés ingénieux manquaient des instruments d'essais et de contrôle dont la science de nos ingénieurs a doté l'industrie et qui permettent de constater et de vérifier à chaque instant les effets réels des méthodes de ventilation et de chauffage de l'air; de déterminer parmi ces méthodes quelles sont les plus économiques. On trouvera à cet égard des notions précises dans l'ouvrage du général Morin et dans ses rapports sur la ventilation et le chauffage des salles de spectacle et des amphithéâtres des cours publics et des hôpitaux.

Assainissement des entre-ponts et de la cale des vaisseaux.

Dans l'historique rapide que nous venons d'exposer des progrès de l'assainissement de divers locaux habités on ne trouve que des indications insuffisantes relativement à l'une des causes les plus graves d'infection de l'air, celle qui prend naissance et s'accumule dans la cale des vaisseaux; c'est sur ce point important pour la santé des gens de mer et sur les conséquences heureuses de plusieurs innovations remarquables à cet égard, que nous désirons maintenant fixer l'attention publique.

On sait que dans les divers bâtiments de guerre, de commerce et de transport des passagers, malgré tous les soins habituels de propreté, une foule de détritus des matières organiques se réunissent journellement dans les parties les plus déclives des navires, imprègnent les bois, deviennent le siége de fermentations diverses, du développement des séminules de végétations cryp-

1. Ce fut à cette époque aussi que l'on essaya l'application de grands tubes verticaux coniques dont l'extrémité supérieure évasée était coupée par un plan formant avec l'horizon un angle de 45°, la partie inférieure étant implantée dans la cale, on faisait manœuvrer les voiles de façon à refléchir le vent dans l'ouverture large du cône; mais cet appareil agissait fort irrégulièrement et ne fonctionnait pas durant les calmes plats, c'est-à-dire alors que la ventilation est le plus nécessaire.

togamiques plus ou moins insalubres transportées par l'atmosphère et des animalcules dont on sait que les réactions, sans être encore bien déterminées, exercent sur nos organes une fâcheuse influence[1].

Les remarquables recherches de M. Pasteur ont démontré de la façon la plus complète que les séminules répandues dans l'air qui se déposent sur les liquides contenant les aliments organiques et minéraux convenables, développent dans ces liquides une foule d'êtres que quelques savants micrographes attribuent, encore, à des *générations spontanées*.

Lorsqu'au retour des voyages on veut effectuer le déchargement et la désinfection des grandes cavités des navires, les travaux sont très-pénibles, dangereux même : tous les agents antiseptiques deviennent parfois insuffisants; l'un des plus énergiques, l'hypochlorite de chaux, appliqué en solutions plus ou moins fortes peut bien arrêter momentanément les progrès de la putréfaction et le développement des êtres microscopiques, animalcules ou cryptogames. Mais bientôt l'hypochlorite entièrement transformé en chlorure de calcium, sel très-hygroscopique, contribue à entretenir sur toutes les parois qui avaient reçu ces aspersions ainsi que dans les tissus ligneux, une humidité permanente; entraîné ensuite par les lavages, toute son efficacité disparaît enfin et l'odeur nauséabonde toute particulière de la cale devient de nouveau dominante. Le concours de deux autres moyens efficaces successivement employés peut garantir

1. Par une série d'observations et d'analyses présentées, de 1845 à 1853, à la Société centrale d'agriculture, résumées dans l'ouvrage sur les *Maladies des Plantes* publié chez Hachette en 1853, j'ai montré que les maladies générales des pommes de terre et de la vigne, dont, à cette époque, les conséquences ont été si graves, et qui parfois sévissent encore, sont dues à des sporules transportées par l'air atmosphérique, et irrégulièrement répandues au gré des vents; elles développent différents champignons microscopiques, parasites vrais, sur les feuilles, tiges et tubercules de la solanée féculente, et sur les fruits, feuilles et tiges de la vigne.

J'avais fait voir, de 1835 à 1844, que les champignons contiennent en fortes proportions des substances azotées, grasses et salines, qu'ils puisent dans les organismes des divers végétaux; qu'ils trouvent même de semblables aliments dans les tissus ligneux les plus durs, envahis souvent, en effet, par ces végétations cryptogamiques, lorsque les conditions d'humidité et de température sont favorables à leur développement. (Voir le *Recueil des savants étrangers de l'Académie des sciences*, tomes VIII et IX, et les *Mémoires* de cette Académie, tomes XX et XXII.)

la salubrité de l'opération du déchargement et du nettoyage de la cale des navires, puis assurer l'assainissement complet des surfaces infectées.

Plusieurs appareils déjà ont été appliqués avec succès en maintes occasions pour subvenir à la respiration salubre des hommes qui pénètrent dans l'atmosphère confinée des caves, puits, citernes où dominent des gaz ou vapeurs délétères ou asphyxiants (oxyde de carbone, acide carbonique, acide hypoazotique, sulfure de carbone, éther, benzine, hydrogène carboné, carbures d'hydrogène légers du pétroleum, etc, etc.)

Parmi ces appareils, trois sont particulièrement dignes d'être recommandés, ce sont : 1° les *scaphandres* enveloppant la tête et une partie ou la totalité du corps et des membres, l'air extérieur étant continuellement insufflé, à l'aide de pompes et de tubes flexibles, dans ces enveloppes, chacun des hommes qui s'en trouve muni peut longtemps travailler dans une atmosphère irrespirable[1] sans que sa respiration cesse d'être salubre ; 2° les outres portatives en peau de bouc, contenant 75 à 100 lit. d'air atmosphérique, qui peuvent subvenir à la respiration d'un homme pendant 12 à 16 minutes; 3° l'appareil respiratoire formé d'un récipient métallique rempli d'air comprimé qu'un régulateur fournit à la respiration de l'ouvrier portant ce réservoir sur son dos.

Il faudrait y joindre le nouveau moyen d'éclairage électrique des mines par les tubes de Geisler[2], s'il s'agissait de pénétrer dans des cavités plus ou moins remplies de ceux de ces gaz ou vapeurs qui sont inflammables. Faute de cette indispensable précaution, de très-graves accidents ont eu lieu dans ces derniers temps, soit à l'embarquement, soit au déchargement, soit à l'emmagasinage des huiles volatiles, dont les sources d'Amérique livrent annuellement au commerce plus de 2 milliards de kilogrammes.

A l'aide des appareils et des précautions ci-dessus indiqués on peut extraire sans danger des entre-ponts et de la cale, au retour des longues traversées, les marchandises et divers objets

1. Comme le font, sous les eaux, les pêcheurs de corail.

2. Procédé qui a reçu une récompense de l'Académie des Sciences dans sa séance générale du 6 février 1865.

à débarquer; on peut également, dans ces conditions hygiéniques, faire opérer jusqu'à fond de cale l'enlèvement des détritus infects et les lavages à l'eau douce des parois contaminées. Mais alors surgit une autre difficulté déjà signalée plus haut : les liquides putrescibles, dont les tissus ligneux, ainsi que la rouille qui recouvre toutes les armatures en fer se trouvent imprégnés, entretiennent par leurs fermentations ultérieures les émanations nauséabondes et insalubres, en un mot, le caractère dominant de l'air confiné dans ces cavités, et que les marins désignent sous la dénomination d'*odeur de cale*. Les antiseptiques usuels (*fumigations* de chlore ou aspersions de chlorure de chaux) employés surtout en vue de détruire ces miasmes, propagules supposés des maladies endémiques, n'avaient eu que des succès éphémères, lorsque M. de Lapparent, ingénieur en chef, directeur des constructions navales, imagina un procédé d'une efficacité certaine, pour opérer la désinfection radicale des parois internes, ligneuses, et même des armatures recouvertes d'une couche ocreuse plus ou moins épaisse. C'était une application spéciale du procédé de carbonisation superficielle dont le succès est garanti par l'exemple d'une antique pratique rurale, et que le savant ingénieur a rendue praticable par des moyens et appareils nouveaux, et qu'il a généralisée, comme nous le dirons plus loin, pour la préparation de diverses pièces de bois ouvré et la conservation des coques en bois des navires cuirassés.

Ce procédé, aussi simple qu'efficace, consiste à flamber toute la superficie (préalablement lavée et épongée) à l'aide du dard d'un chalumeau à gaz. Trois effets principaux se produisent dans ce cas : 1° Les surfaces encore très-humides sont promptement desséchées par suite de l'évaporation presque instantanée de l'eau hygroscopique superficielle; 2° les matières organiques putrescibles aussi bien que les êtres microscopiques, animalcules et plantes cryptogames, éprouvent une torréfaction et même une combustion partielle qui détruit toute vitalité comme toute tendance à la fermentation; 3° le tissu ligneux lui-même, à cette température élevée jusqu'à $0^{mm}.2$ à $0^{mm}.3$ de profondeur, est partiellement distillé : il dégage les produits ordinaires de la distillation des bois, notamment l'acide acétique, la créosote, divers carbures d'hydrogène, en un mot, les matières goudronneuses douées des propriétés antiseptiques les plus énergiques.

Ainsi, du même coup on détruit les ferments, les matières organiques putrides, et l'on imprègne le tissu ligneux des produits goudronneux, antiseptiques, qui peuvent concourir énergiquement à sa conservation.

Ce mode d'opérer est facile à comprendre. Des cylindres à gaz portatif, tels qu'on les construit dans l'usine de Charonne (dirigée par M. Hugon), remplis de gaz d'éclairage sous la pression de 11 atmosphères et munis de régulateurs, débitent environ 9 volumes 1/2 de gaz sous la pression légère de 3 à 4 centimètres d'eau, qui suffit à dégager le gaz enflammé, tandis que l'air d'une machine soufflante, lancé par un tube concentrique dans l'axe du chalumeau, produit l'effet d'une flamme oxydante que l'on développe et qu'on modère à volonté au moyen des robinets à air et à gaz sous la main de l'ouvrier. D'ailleurs l'air et le gaz étant amenés par des tubes flexibles en caoutchouc, comme dans l'appareil bien connu à soudure autogène de Desbassayns de Richemond, l'ouvrier promène sans la moindre difficulté le dard du chalumeau sur toutes les surfaces à carboniser au point voulu. Afin d'éviter quelques chances d'accidents, il convient de disposer les récipients du gaz comprimé à l'air libre sur le pont des navires. Toutes les opérations, ainsi que M. de Lapparent le fait remarquer, peuvent être confiées sans le moindre inconvénient aux hommes du bord, de sorte que n'ayant pas à payer la main-d'œuvre d'ouvriers spéciaux, la dépense se borne au prix du gaz consumé.

Dans ces conditions, deux hommes, sur le vaigrage d'une cale et à l'aide d'une seule soufflerie, carbonisent facilement 10 mèt. carrés par heure en consommant 200 litres par mètre superficiel; durant une journée de 10 heures, la dépense de gaz s'élèvera donc à 20 mètres cubes de gaz pour carboniser 100 mètres carrés. Si les récipients cylindriques en tôle, terminés par des calottes hémisphériques, ont 60 cent. de diamètre et 2 mètres de longueur; leur capacité étant de un demi-mètre cube (qui contient le gaz refoulé à 11 atmosphères), leur contenance effective représente à la simple pression atmosphérique, 5 mètres cubes 1/2; quatre de ces récipients, pesant chacun 90 à 100 kilogrammes, par conséquent d'une manœuvre facile, suffiront pour une journée de travail.

L'effet produit par le flambage sur les ferrures de la cale n'est

pas moins satisfaisant, car l'oxyde de fer, imprégné de matières organiques, s'échauffe assez au contact du dard de flamme pour déterminer la carbonisation et par conséquent la désinfection de ces matières. Souvent même l'oxyde, si sa couche est épaisse, dilaté par la chaleur, se détache de la portion métallique et tombe en plaques.

Quant aux navires en fer, la conductibilité du métal, bien plus grande que celle du bois, exige que, pour obtenir assez rapidement la température utile, à la superficie, on effectue le flambage avec des chalumeaux ou lances, d'une plus grande puissance, en consommant alors 1 mètre cube de gaz pour flamber 4 mètres carrés de surface. Dans ces conditions, une expérience faite l'année dernière à l'arsenal de Wolwich, en Angleterre, prouve qu'un homme seul peut flamber jusqu'à 12 mètres carrés de surface: On consomme dans ce cas 250 litres de gaz par mètre carré.

Cette opération déterminant une dessiccation prompte de la superficie et rendant friable la couche d'oxyde calcinée, permet d'enlever par un simple grattage l'oxyde devenu friable, et d'appliquer une nouvelle couche de peinture sur le fer mis à nu.

En considérant les grands avantages qui peuvent résulter de l'application de ce système économique d'assainissement des cales des navires, M. de Lapparent regarderait comme une excellente mesure le traitement par ce procédé, rendu réglementaire, c'est-à-dire obligatoire, de tous les bâtiments qui reviendraient de campagne pour être désarmés; on préviendrait ainsi en effet, les inconvénients graves, les dangers même, que nous avons signalés plus haut, de l'infection des cales de navires; nous ajouterons que les vaisseaux marchands éviteraient souvent par ce moyen les avaries occasionnées dans le chargement par le mauvais état des cales et les émanations qui en résultent.

Qualités des bois de la marine.

On classe d'une manière générale les bois, quelle que soit leur espèce ou leur variété, en *bois tendres* à tissu plus ou moins lâche, et en *bois durs* à tissu serré, dont les couches annuelles plus étroites, assez égales, annoncent une croissance lente et régulière : ce sont ceux qui offrent la plus forte densité apparente à

l'état sec[1], qui résistent le mieux aux actions mécaniques et chimiques, et aux diverses causes de dépérissement. Les meilleurs de ces bois viennent dans de très-bonnes conditions en Italie, soit isolément, soit en touffes formées d'un petit nombre d'arbres. On en trouve aussi de très-bons dans le midi et l'ouest de la France; ils sont désignés sous les dénominations de *bois champêtres* ou *de fossés;* on les emploie surtout pour les membrures, si sujettes aux altérations spontanées, par suite de leur position dans un air humide confiné entre deux épaisses lames de bois : le *bordé* externe et le vaigrage intérieur. Ces bois conviennent rarement pour la construction des bordages, parce que leur longueur est presque toujours insuffisante. Les bois champêtres offrent en général un grand nombre de nœuds provenant des branches latérales recepées plus ou moins près de la tige.

Relativement aux bois durs, il suffit souvent d'enlever les portions saillantes de ces nœuds pour rencontrer au-dessous les tissus ligneux sains, tandis que sur les arbres à tissu lâche ou tendre, il arrive presque constamment que, dans les parties d'où les branches ont été enlevées, l'eau en pénétrant par quelques fissures, a déterminé des altérations profondes qui compromettent la résistance et la durée de ces pièces.

Ce sont, en tous cas, les arbres venus en taillis, droits, et n'ayant développé que des branches latérales peu étendues, qui produisent les pièces les plus longues, les plus régulières, convenant le mieux pour construire les bordages. Au surplus, la rareté croissante des bois de nos forêts rend chaque jour plus limité le choix des pièces les plus convenables pour les différentes parties des navires.

On a donc été conduit à employer en quantité considérable des bois exotiques : indépendamment des bois durs des bords de l'Adriatique et de l'Italie, qui fournissent les meilleures membrures, on recherche le *teak* (*Tectona grandis*) des Indes pour le bordé et le vraigrage, il est résistant; son poids n'excède guère celui de nos chênes, et il se conserve très-longtemps.

1. Quant à la densité réelle, on y remarque peu de différences et cela se conçoit bien, car la cellulose et les matières incrustantes ligneuses qui constituent en proportions variées tous les bois, ont à peu de chose près le même poids spécifique : la cellulose plus ou moins agrégée du coton, du lin, du périsperme de phytelephas, pèse de 1469, 1530 à 1571, et les tissus ligneux de 1462 à 1580.

Les immenses forêts de la Guyane française offrent à cet égard de précieuses ressources; les observations, ainsi que les expériences comparatives faites par M. de Lapparent, indiquent les qualités remarquables de ces bois au point de vue de leur résistance à la rupture, de leur élasticité ainsi que de leur durée même, pour la plupart, au contact des matières organiques putrescibles, qui, par leur fermentation, peuvent entraîner des pertes de force plus considérables dans les bois indigènes.

Parmi les essences les plus abondantes des forêts très-mélangées de la Guyane, on rencontre celles qui offrent les meilleures ressources pour les constructions de la marine : l'*angélique* qui, par ses qualités, semblerait identique avec le teak de Moulmein, le *balata*, le *bois violet*, le *courbaril* (*Hymenæa courbaril*), le *coupi* et le *Wacapoa*. Ce fut en opérant sur des barreaux de 2 centimètres de côté confectionnés avec du teak de Moulmein acheté en Angleterre (pour border sous sa cuirase la frégate la *Normandie*), que M. de Lapparent fit essayer, comparativement avec des barreaux de chêne de forêt (d'un bordage de l'approvisionnement du magasin de Cherbourg) et les bois de la Guyane française, en y comprenant même des barreaux de hêtre et de peuplier injectés de sulfate de cuivre.

Voici les résultats obtenus de ces essais (à la romaine installée sur le port de Cherbourg) et en prenant pour unité soit l'élasticité du chêne en question, soit sa résistance à la rupture :

NOMS DES ESSENCES.		NOMBRES PROPORTIONNELS	
		A L'ÉLASTICITÉ.	A LA RUPTURE.
Chêne des forêts de France		1,000	1,000
Teak de qualité supérieure		2,000	1,920
Teak tendre (acheté en Angleterre)		1,100	1,330
Bois de la Guyane.	Angélique	2,250	1,830
	Coupi	1,700	1,660
	Bois violet	2,250	2,650
	Wacapoa	2,000	2,000
	Balata	3,325	3,150
	Courbaril	4,000	2,825
	Taoub jaune	2,000	2,000
	Saint-Martin	2,000	2,325
	Cèdre noir	1,820	2,325
Hêtre injecté de sulfate de cuivre		1,420	1,100
Peuplier injecté de sulfate de cuivre		0,665	0,830

L'auteur, sans attacher à ces expériences, qu'il faudrait multiplier et varier, une importance absolue, fait remarquer l'infériorité relative du chêne tendre de nos forêts au point de vue de l'élasticité, ainsi que de la résistance à la rupture. La même observation s'applique au teak tendre acheté pour le bordé des frégates cuirassées [1]. On doit remarquer d'ailleurs le résultat si favorable aux bois de la Guyane et qui les rapprocherait du teak de Moulmein et de l'angélique, et pourrait expliquer la dénomination de *teak de la Guyane* qu'on leur donne quelquefois.

Mais, dans les constructions navales, la durée probable des bois est une condition qui a plus d'importance encore que toutes les autres ; ce fut en vue d'apprécier cette propriété que l'auteur entreprit une nouvelle série d'essais : des barreaux provenant des mêmes bois furent stratifiés comparativement dans des caisses, en interposant des couches alternatives de fumier (de cheval) humide. De semblables barreaux furent enfoncés de moitié de leur longueur dans une terre mouillée. Au bout de six mois tous les échantillons furent soumis à l'épreuve de la romaine; les uns ayant perdu de leur force plus dans le fumier que dans la terre, on prit la moyenne qui conduisit aux résultats suivants :

NOMS DES ESSENCES.		PERTE POUR 100.
Chêne de nos forêts		30
Teak qualité supérieure		16,50
Teak tendre		25
Bois de la Guyane.	Angélique	5
	Coupi	0
	Bois violet	0
	Wacapoa	0
	Balata	10
	Courbaril	12,50
	Taoub jaune	31,75
	Saint-Martin	14,75
	Cèdre noir	22,50
Hêtre (injecté de sulfate de cuivre)		30
Peuplier (injecté de sulfate de cuivre)		10

1. Les forêts de Moulmein qui fournissaient la meilleure qualité de cette essence sont, à ce qu'il paraît, épuisées : on n'y rencontre plus que des bois de qualité médiocre ; on pense qu'il se trouverait du côté de Bangkok, dans les immenses forêts du royaume de Siam, des bois de qualité supérieure.

Ces remarquables résultats d'expériences qui, comme les précédentes, devraient être plus nombreuses et variées pour devenir tout à fait concluantes, dénotent encore, à tous les points de vue, la grande supériorité des bois de la Guyane [1].

L'angélique, en raison de sa légèreté relative, égale sensiblement à celle du chêne, et indépendamment de ses autres qualités (élasticité, force et durée), remplacerait avec avantage le *teak* pour le bordé sous blindage; les autres essences, d'une densité plus grande, seraient mieux placées près du fond des navires. Au surplus, cette question envisagée d'ailleurs sous toutes ses faces, y compris les procédés d'exploitation, de préparation et de transports économiques, est à l'étude dans les différents arsenaux de l'empire.

M. de Lapparent fait remarquer à cette occasion que la plupart des essences de la Guyane conviendraient merveilleusement aussi à la confection des traverses des chemins de fer, en raison de leur durée et de leur poids spécifique, qui contribue certainement à la stabilité de la voie ferrée.

Conservation de la coque en bois des navires.

Ce procédé se rattache au mode de désinfection que nous avons décrit plus haut; il s'applique, ainsi que nous le verrons plus loin, à la conservation des bois d'une manière très-générale, et, sous ce rapport, tire son origine des pratiques traditionnelles de la viticulture. Sa base fondamentale est effectivement l'action du feu et de la fumée qui carbonise superficiellement la masse ligneuse de divers objets ouvrés. On la trouve exposée en ce qui touche les échalas et les pieux des vignobles, dans le livre II des *Géorgiques* de Virgile :

Et suspensa focis exploret robora fumus.

Ce moyen de préserver le bois des altérations qu'occasionnent les agents atmosphériques et l'humidité du sol, à l'aide des pro-

1. On trouvera dans l'article précité du n° d'avril 1861 de ces *Annales*, des renseignements sur la structure et la composition immédiate de différents bois, qui peuvent mettre sur la voie des causes spéciales de leur résistance plus ou moins grande aux actions mécaniques, physiologiques ou chimiques.

duits pyroligineux que développe la flamme en torréfiant la superficie ligneuse, offre donc la garantie d'un succès que plusieurs siècles ont consacré, car elle s'est propagée dans tous les pays pour préserver de la pourriture les poteaux, pieux et échalas dans les parties inférieures scellées ou fichées en terre.

A ceux qui seraient tentés de mettre en doute l'efficacité de la carbonisation superficielle ou de la torréfaction légère et de l'enfumage des divers objets en bois, on pourrait rappeler les pratiques usuelles de temps immémorial pour colorer, durcir et conserver les sabots communs, les pelles, les montures en bois des soufflets, les attelles ou sortes de chevilles qui retiennent les traits des chevaux et voitures et une foule d'ustensiles en bois exposés aux intempéries des saisons.

Nous pourrions ajouter qu'en Allemagne on expose dans des cheminées pendant un mois environ à la fumée du bois, des rameaux de sapin qui deviennent tellement durs qu'on les peut ensuite tarauder dans une filière, et que l'on emploie ces sortes de vis, à peu près imputrescibles, pour assembler et maintenir les joues en planches des roues hydrauliques.

M. de Lapparent a vérifié de plusieurs façons l'action préservatrice de la carbonisation superficielle : des piquets enfoncés en terre auprès d'une pièce d'eau, retirés après dix-huit ans, se sont trouvés en si bon état, que la pointe d'un couteau y pénétrait difficilement, tandis qu'une année de séjour en terre humide d'un poteau non carbonisé suffit pour déterminer à la surface une pourriture de plusieurs millimètres de profondeur. Au mois d'août 1862, un certain nombre de barreaux de chêne, carbonisés seulement sur la moitié de leur longueur, furent placés dans une caisse remplie de fumier ; au bout d'un an (c'est-à-dire en août 1863), les barreaux ayant été retirés, toutes les surfaces qui avaient été laissées à l'état normal étaient plus ou moins envahies par la pourriture, tandis que les faces carbonisées étaient demeurées intactes. L'expérience, répétée sur des barreaux de sapin, a donné les mêmes résultats au bout de six mois. Quelques autres barreaux goudronnés dans la moitié de leur longueur n'avaient été qu'incomplétement protégés.

Une grande épreuve de ce genre avait été faite il y a près de cent ans, alors qu'on voulut introduire le système de carbonisation superficielle dans les arsenaux de la marine anglaise : le

Royal Williams fut en partie préparé de cette manière, et l'on a constaté que ce fut un des vaisseaux de la marine britannique qui eut la plus longue durée. Toutefois la pratique de la carbonisation des navires ne s'est alors ni généralisée ni même maintenue, car les moyens employés pour l'appliquer étaient trop dispendieux et exposaient à de trop grands dangers d'incendie pour qu'il y eût en définitive avantage à les employer.

Voici comment on opère actuellement au moyen de pompes spéciales, dont tous les ports de la marine française sont munis. On comprime sous la tension de 11 atmosphères le gaz des usines dans des cylindres en tôle d'une capacité de 0,75 de mètre cube. Ces cylindres, posés sur un chariot, sont transportés à pied d'œuvre et mis en communication avec un petit régulateur qui maintient du gaz sortant, à la pression utile d'une colonne de 3 à 4 centim. d'eau. Ces dispositions permettent de carboniser même la superficie d'un bâtiment à flot. Il suffit, dans ce cas, de placer le cylindre rempli de gaz comprimé sur un *ras* ou dans une embarcation. En tout cas, la carbonisation à flot pour le *bordé* des vaisseaux cuirassés devient indispensable; car on ne pose la cuirasse qu'après la mise à l'eau, et les faces du *bordé* ne sont *parées* et rabotées qu'au moment de la pose des plaques de l'armure. Lorsque les bois ont été employés dans l'état ordinaire de dessiccation, leur carbonisation n'exige pas plus de 200 litres de gaz par mètre carré de surface.

Nous venons de dire que les meilleures conditions économiques pour le flambage des bois se rencontrent lorsqu'une dessiccation préalable a rendu plus facile et plus prompte la carbonisation superficielle qui autrement ne commencerait qu'après l'évaporation de l'eau imprégnant le tissu ligneux. Depuis longtemps, les faits constatés par les ingénieurs de la marine, en France comme en Angleterre, avaient démontré que la dessiccation à l'air libre ou par différents procédés devient plus régulière et occasionne moins de fentes dans les charpentes, lorsque celles-ci ont été maintenues immergées pendant plusieurs mois et jusques à deux ou trois ans dans l'eau saumâtre, et bien mieux encore dans l'eau douce courante ou souvent renouvelée; l'effet utile produit dans ce cas peut tenir en partie à la dissolution et à l'extraction lente des substances fermentescibles (sucrées et azotées), mais sans doute bien plus encore à la répartition

plus régulière du liquide aqueux dans les canaux séveux et les tissus ligneux des couches concentriques d'accroissement annuel les plus rapprochées de la superficie. Cette répartition régulière, qui s'oppose à une dessiccation superficielle trop prompte et facilite l'élimination bien graduée de l'humidité des parties centrales vers la périphérie, prévient les retraits trop rapides et par conséquent les fentes externes qui se propagent vers le centre. On obtiendrait sans doute beaucoup plus promptement, et même en quelques heures, cette répartition de l'humidité dans la masse ligneuse, si l'on pouvait soumettre les pièces de bois à l'action de la vapeur dans l'ingénieux appareil de MM. Legé et Fleury Pironnet[1]. Si de plus on leur faisait subir dans le même appareil l'action des pompes pneumatiques à faire le vide : on ajouterait à l'utile répartition de l'humidité un commencement de dessiccation ou d'extraction de l'eau séveuse, et toutes les conditions de la dessiccation ultérieure à l'air se trouveraient améliorées[2]. Et peut-être arrivera-t-on un jour à reconnaître que l'application partielle ou totale de ce procédé, bien qu'un peu plus dispendieuse que la longue immersion et la lente dessiccation spontanée à l'air libre, aurait des compensations suffisantes par la préparation plus rapide et la meilleure qualité, enfin la plus longue durée des différentes pièces de bois[3].

Perfectionnement dans la dessiccation des charpentes.

Quels que soient les procédés en usage pour les premières préparations des bois de charpente, la dessiccation ultérieure en magasin serait trop lente et généralement insuffisante. Il sera

1. Voyez la description dans le n° 4 de ces *Annales*, avril 1861, p. 692.

2. On trouverait de nouvelles garanties de conservation, en même temps que d'une dessiccation régulière, si l'on complétait l'action de l'appareil Légé, Fleury Pironnet, c'est-à-dire par l'injection de la solution aqueuse contenant 0,02 de sulfate de cuivre.

3. Peut-être aussi arrivera-t-on à reconnaître un jour, qu'en vue d'assurer une très-longue durée à certaines pièces importantes dans la construction des navires, et d'autres ouvrages en bois, il y aurait profit, en définitive, à réunir aux procédés d'injection au sulfate de cuivre et à la dessiccation ordinaire, la carbonisation superficielle qui garantirait la superficie contre l'action destructive des agents extérieurs.

sans doute toujours utile, au point de vue de la marine et des diverses constructions, d'amener en aussi peu de temps que possible les charpentes à un état de dessiccation tel que leur volume et leur poids se maintiennent à peu près stables dans l'air atmosphérique ambiant après leur emploi.

Nous pouvons citer à cet égard un procédé remarquable, qui nous semble réunir les meilleures conditions d'économie et d'efficacité; il n'est pas sans analogie avec les anciennes méthodes de carbonisation superficielle du bois, ni avec les procédés nouveaux de flambage que nous venons de décrire, et qu'il a précédés de quelques années seulement. En ce qui touche les constructions navales, ce serait surtout après avoir taillé ou façonné les pièces et avant leur assemblage qu'il conviendrait d'effectuer leur dessiccation ultime.

Parmi tous les procédés mis en usage chez nous comme en Angleterre, le moyen simple imaginé et pratiqué par M. Guibert nous semble l'un des plus économiques et des plus efficaces[1].

Le procédé de M. Guibert, qui active cette dessiccation, consiste à introduire dans l'étuve un courant de fumée produit par la combustion incomplète ou la distillation de la houille ou du bois, de la tannée ou de la sciure : un ventilateur fait circuler la fumée entre les bois de façon à ce qu'elle agisse sur toutes les surfaces des pièces; dans ces circonstances, la fumée, toujours accompagnée de vapeur d'eau, n'effectue que très-graduellement la dessiccation; en outre, les produits goudronneux, qu'elle entraîne avec elle, imprègnent toutes les faces des pièces de ces vapeurs pénétrantes, antiseptiques et délétères pour les divers animalcules, les végétations cryptogamiques et leurs sporules reproductrices. Il en résulte qu'en poussant la dessiccation au

1. A Londres on se sert, depuis quelque temps, pour dessécher les bois de faible épaisseur (lames de parquets, planches, panneaux de boiseries, etc., etc.), d'une étuve dans laquelle les pièces de bois sont soumises, au moyen d'un ventilateur, à un courant d'air dont on élève très-graduellement la température, jusques à 100° centésimaux. Si l'on appliquait ce moyen aux pièces d'un fort équarrissage, les portions rapprochées de la superficie prenant un retrait notable avant que la masse ligneuse autour de l'axe éprouvât une diminution sensible de volume, il se manifesterait des fissures qui rendraient ces pièces impropres à être débitées en bordages; tout au plus pourrait-on, sans inconvénient, les faire servir pour la construction des membrures.

point convenable, on introduit sur toutes les parties externes et jusque dans les fentes du tissu ligneux des agents de conservation.

En faisant appliquer par M. Guibert ces moyens à une pièce ayant un équarrissage de 33 cent. de côté et 4m,10 de longueur, M. de Lapparent a constaté qu'après un séjour dans l'étuve durant quatorze jours, sans que la température excédât celle de l'eau bouillante, la dessiccation était trop forte.

Quelques essais entrepris par M. Avoine, conducteur des travaux hydrauliques de Cherbourg, ont montré que des plateaux de hêtre, séchés par le procédé Guibert et employés pour confectionner des tables destinées aux cuisines de l'infanterie de marine, étaient devenus très-durs par suite de ce mode particulier de séchage. On en a conclu que dans un grand nombre de travaux de menuiserie on pourrait remplacer le chêne par le hêtre *fumé*. Une commission, nommée par le préfet maritime de Cherbourg, composée de MM. de Robert, président, Lemaire et Joyeux rapporteur, a constaté ces faits et beaucoup d'autres favorables au procédé Guibert ; deux bordages de 5 centimètres d'épaisseur sont restés à l'étuve 43 jours ; la perte de poids a été de 25 p. 100 ; il ne s'était pas manifesté de fentes ; leur dessiccation était complète, car au bout de 15 jours, comme après 3 et 7 mois à l'air, ils n'avaient rien perdu de plus. On a donc pu admettre que 28 jours à l'étuve suffisent à la dessiccation du chêne de cette épaisseur.

Les bordages de 10 cent. restés à l'étuve 43 jours avaient perdu 20 p. 100 de leur poids, et des nouvelles pesées au bout de 95 et de 120 jours en magasin la perte ne s'était accrue que de 1 et 2 centièmes.

Un bordage de 18 cent. resté dans l'étuve 70 jours a perdu 22,2 p. 100, après 210 et 336 jours ; la perte a augmenté de 1,5 et 2,4 centièmes seulement.

Deux plateaux de bois d'orme, de 3 c., en 20 jours ont perdu à l'étuve 35 p. 100 ; leur dessiccation était à peu près complète alors et leur état de conservation parfait, après 350 jours de séjour en magasin. Deux plateaux de 15 cent., au bout de 60 jours à l'étuve avaient perdu 0,33, et après 336 jours en magasin la perte ne fut accrue que de 3,15 p. 100, un bordage de hêtre, ayant 40 cent. d'épaisseur, perdit à l'étuve 34,4 p. 100 de son

poids en trente jours; sa dessiccation était à peu près complète, car la perte ne fut augmentée que de 0,98 ou de moins de 1. p. 100, après 227 jours de séjour en magasin. Plusieurs séries de bordages en sapin du Nord de 2 à 10 centimètres d'épaisseur, ayant passé douze à vingt jours à l'étuve ont donné d'aussi bons résultats. La Commission a reconnu que cette dessiccation rend le bois plus dur à travailler à la superficie et sur une épaisseur variable, suivant la durée de l'étuvage. Parmi les certificats de plusieurs entrepreneurs, la Commission cite celui de M. Geofroy aîné, architecte de la ville, d'où il résulte que les bois de charpente et de menuiserie traités par le même moyen de séchage à la fumée ont été employés dans la construction de l'hôpital Napoléon III, et que ces bois ne laissent rien à désirer. Les lattes à soutenir les plafonds, les échalas de vignes, ainsi que les tuteurs des pépinières, les perches à houblon et les poteaux des lignes télégraphiques ainsi préparés, auraient sans doute une durée plus longue qu'à l'état ordinaire. Ces divers objets et toutes les pièces taillées qui entrent dans la construction des navires opposeraient une résistance bien plus grande encore aux causes précitées d'altération des bois, si après cette dessiccation *dans la fumée*, ils étaient soumis au flambage si facilement praticable d'après le système de M. de Lapparent, qui, en vue de ces applications spéciales, a introduit quelques modifications décrites plus loin.

Le procédé de carbonisation superficielle par le chalumeau à gaz comprimé est actuellement mis en pratique dans tous les arsenaux de l'Empire : on a carbonisé toute la surface de la frégate cuirassée la *Flandre*, ce qui représentait une étendue de 15,000 mètres carrés. En ce moment, on s'occupe de carboniser le transport le *Cher* qui est en chantier. A Brest, on carbonise la frégate cuirassée la *Valeureuse*. A Lorient, la carbonisation intégrale de la frégate cuirassée la *Guyenne* est finie, et l'on s'occupe de carboniser le transport la *Corrèze*. A Toulon, le même procédé a été mis en usage non-seulement pour la frégate cuirassée la *Revanche*, mais encore pour la canonnière la *Tactique*.

Le même système de carbonisation est en outre avantageusement employé *aux refontes* pour sécher et durcir les bois qu'on laisse en place, afin d'ailleurs de détruire tous les germes des

êtres microscopiques, ferments, sporules et animalcules que l'air y dépose et que le temps accumule à leur surface.

Au temps de la marine à voiles, les procédés de séchage et *d'assainissement* des bois par voie de torréfaction n'auraient pas eu la même importance qu'aujourd'hui : alors, en effet, on n'était pas obligé de hâter l'achèvement et la mise à l'eau, on se contentait de border le navire à claire-voie, de sorte que l'air atmosphérique pût circuler librement autour de sa membrure, et dans cet intervalle de temps on s'occupait de confectionner le matériel d'armement, qui était ensuite mis en magasin. Lorsque l'on voulait disposer du bâtiment ainsi préparé, on le terminait; en quelques mois, il pouvait être lancé, recevoir son matériel d'armement et être mis en état de prendre la mer. Aujourd'hui, les conditions de la marine à vapeur du Gouvernement sont tout autres : un bâtiment de guerre est complet seulement lorsque sa machine est installée à bord, mise à l'essai pour être définitivement reçue, ce qui exige beaucoup de temps et de soins; d'ailleurs, les moyens dont on dispose dans les arsenaux étant en général absorbés par la nécessité des réparations journalières, on doit avoir recours à l'industrie privée pour la construction de presque toutes les machines; or, le prix ne pouvant être soldé qu'après leur mise à bord et un essai concluant, on est forcé d'achever promptement la construction du navire et de procéder immédiatement à sa mise à l'eau.

Dans ce cas, très-général aujourd'hui, le bois n'étant pas desséché au point convenable dégage constamment de l'eau en vapeur qui sature l'air d'humidité et sous l'influence d'une température qu'entretient le voisinage de la cale (souvent échauffée jusques à 40°), toutes les fermentations, végétations cryptogamiques, attaque des insectes, se trouvent activées et détruisent rapidement les tissus ligneux. Un grand nombre d'exemples démontrent l'imminence de ces dangers.

M. de Lapparent a vu le vaisseau de 90 canons l'*Austerlitz*, monté en *bois tors*, à Cherbourg, en avril 1833, mis à l'eau au mois d'octobre 1852 (en présence de M. Ducos, ministre de la marine); ce vaisseau était ainsi demeuré vingt ans sur cale. A peine lancé, on décida sa transformation en vaisseau mixte à vapeur; entré alors dans la *forme de radoubs*, son arrière fut démoli et remplacé par un autre convenable à la nouvelle destination du

bâtiment. L'opération se fit sans désemparer; on recouvrit aussitôt la membrure nouvelle de son bordé et de son vaigrage; le vaisseau, sorti de la forme, fut immédiatement armé. Or, dès le commencement de l'année 1861, cet arrière, après six années d'existence, se trouvait totalement avarié; il a fallu le reconstruire, ce qui eut lieu à Cherbourg, tandis que tout le surplus de la membrure est encore dans le meilleur état, après plus de trente ans de service. Reconstruit en des circonstances semblables, quoique sous le climat plus favorable de Toulon, l'arrière du vaisseau le *Charlemagne* a éprouvé de semblables altérations. Ainsi donc, il est évident que le rapide dépérissement des modernes constructions navales tient à ce qu'il n'est plus possible de les laisser sécher sur cale aussi longtemps qu'autrefois.

Ce danger devient d'autant plus grand en ce qui touche nos frégates cuirassées, que l'application de la cuirasse dans les parties hautes devant accroître l'inertie des murailles, les déformations de la coque pendant les gros temps seront plus prononcées lorsque, par l'effet de l'altération des membrures, les chevilles ne maintiendront plus assez solidement le bordé.

On comprend donc que l'importance considérable des dispendieux bâtiments de guerre actuels doive faire promptement généraliser l'emploi des meilleurs et des plus expéditifs moyens d'assurer la conservation des bois de la marine.

Applications aux constructions civiles, aux traverses, poteaux télégraphiques, et ustensiles de l'agriculture.

On comprend sans peine que les moyens de rendre économiquement les bois plus durs et moins altérables doivent s'appliquer avec avantage aux charpentes comme à une foule d'autres pièces en bois exposées aux réactions que favorise l'air plus ou moins humide et chaud. Aussi M. de Lapparent s'est-il préoccupé dès l'origine de rendre le flambage des bois destinés à ces usages généraux plus facile et plus économique dans toutes les localités, qu'en y employant le gaz de l'éclairage.

Le problème a été résolu à l'aide de deux procédés distincts, fondés, l'un sur l'emploi de l'*huile lourde* des goudrons rectifiés, l'autre sur la production d'une longue flamme en brûlant dans des conditions toutes spéciales des houilles sèches ou

même du coke qui, d'ordinaire, ne développent guère que de la chaleur rayonnante.

Flambage à l'huile lourde. On sait que 1,000 kilos de goudron liquide de houille provenant des usines à gaz, exempt d'eau ammoniacale, produisent en moyenne, à l'aide d'une distillation ménagée, 30 de *benzine*, qui trouve des débouchés faciles dans la préparation de l'aniline et des magnifiques couleurs qui en sont dérivées, 160 kilog. d'huile lourde incomplétement utilisée pour l'extraction de la *quinine*, l'éclairage des ateliers, etc. Le résidu de la distillation, désigné sous le nom de brai gras, s'emploie dans la fabrication du charbon de Paris et pour reconstituer avec les menus lavés des houilles flambantes, de Charleroi notamment, un excellent combustible aggloméré, dont la densité s'élève de 1,100 à 1,250. Dans cette opération, on éprouve une déperdition, comme on le voit, de 60 kilog. Parmi les produits et résidus recueillis de cette distillation fractionnée, il n'y a donc que l'huile lourde qui se trouve en excès sur les quantités consommées, aussi peut-on l'obtenir à bon marché, 10 à 12 centimes le kil. A ce prix, la lumière ou la chaleur que l'on en obtient par la combustion coûte à peine le quart du prix résultant de l'emploi du gaz usuel de l'éclairage. Mais il est difficile de brûler cette huile, qui, dans la plupart des lampes ordinaires de différents systèmes, développe une flamme fuligineuse.

Sur les indications de son père, M. de Lapparent fils, jeune agriculteur, est parvenu à vaincre cette difficulté en construisant une lampe analogue à celle des émailleurs, mais dans laquelle une mèche tressée, cylindrique, horizontalement soutenue par un tube métallique, se trouve constamment alimentée d'huile à l'aide d'une grosse mèche de coton à brins libres et parallèles qui l'entoure, et dont les deux bouts plongent dans l'huile maintenue à 5 ou 10 millimètres au-dessous de la mèche tressée. Dès que celle-ci, imprégnée d'huile, est allumée à son extrémité sortant de la lampe, la flamme fuligineuse qu'elle commence à répandre est bientôt complétement brûlée à l'aide du courant d'air forcé qu'amène un tube concentrique au tube cylindrique supportant la mèche [1].

1. Les lampes des deux modèles, ainsi disposées, se trouvent actuellement dans

On obtient de cette manière un dard de chalumeau qu'on règle à volonté et que l'on dirige sur les pièces de bois à torréfier. Celles-ci, lorsqu'elles sont volumineuses et pesantes, peuvent facilement être maintenues sur des supports, dirigées et retournées devant le jet de flamme, de manière à torréfier régulièrement leur superficie; souvent on se contente, notamment pour les poteaux, pieux, tuteurs, échalas, etc., de traiter ainsi toute la portion qui doit être fichée ou scellée en terre, et, en outre, une hauteur de 15 à 25 centimètres au-dessus, afin de garantir également cette partie où l'humidité se propage par voie de capillarité.

La combustion de l'huile lourde dans la lampe nouvelle est plus facile et plus régulière lorsqu'on l'a mélangée avec un volume égal de l'huile dite de pétroleum provenant de la rectification du produit brut de Pensylvanie, dégagée des hydrocarbures trop légers et trop inflammables[1]. Ce mélange des deux huiles, à la vérité, revient à 35 cent. le kilog.; il triple à peu près le prix du flambage en ce qui concerne la production de la flamme, mais il est encore de près de moitié inférieur au prix de revient du gaz de l'éclairage.

Le procédé du flambage, appliqué aux bois de menuiserie et de charonnage, taillés et façonnés, ne s'oppose nullement à la peinture; il suffit dans ce cas d'enlever par un brossage énergique la légère couche charbonneuse pulvérulente avant de peindre ces surfaces.

En vue de ces grandes applications, M. de Lapparent avait imaginé et décrit un fourneau spécial à brûler du coke; l'habile directeur du gaz portatif, M. Hugon, a modifié cet appareil de la manière la plus ingénieuse en lui faisant produire une véritable flamme de chalumeau plus volumineuse et plus économique que le gaz d'éclairage et même que les huiles lourdes.

Ce fourneau se compose d'un cylindre de fonte épais de 2 centimètres, ayant en dimensions prises à l'intérieur 40 centim. de long et 20 centim. de diamètre; muni, au bout et à la partie

les galeries du Conservatoire ainsi que le chalumeau à gaz, également destiné au flambage des bois.

1. L'huile ainsi rectifiée a une densité de 1000 à 1100°, elle peut être essayée en la versant dans une soucoupe, et y plongeant une allumette enflammée : celle-ci doit alors s'éteindre sans mettre le feu à l'huile de pétroleum.

supérieure, d'un tube venu de fonte ayant 23 centim. de diamètre et 22 centim. de hauteur, servant, dans le cours de l'opération, à introduire le combustible; ce tube est maintenu d'abord quelques instants ouvert au commencement, afin d'établir un tirage pour allumer le feu; au bas de la face verticale d'une plaque opposée boulonnée sur le bord rabattu du cylindre, se trouve une ouverture, close à volonté par un obturateur à charnière et clavette, servant à introduire quelques copeaux pour l'allumage et à retirer les cendres. Au-dessus de cette porte, à la partie supérieure du cylindre, un ajutage recourbé venu de fonte, ayant 5 centim. et demi de diamètre à son bout rétréci, fait l'office de bec du chalumeau; enfin, à la face verticale opposée et au bas d'une plaque boulonnée fermant le cylindre, est adapté un tube en fonte de 4 centim. de diamètre, rétréci à 3 centim. au bout, qui amène par un tube flexible en caoutchouc le vent de la soufflerie, et sur le trajet duquel est implanté un petit tube à robinet amenant par un tube flexible un léger filet d'eau pressé par le mouvement d'un petit piston que fait mouvoir la tige du soufflet à piston; l'insufflation de l'air est d'ailleurs régularisée par l'intervention d'un réservoir d'air comprimé.

Voici comment ce fourneau fonctionne : on place quelques copeaux par l'ouverture inférieure; on remplit le cylindre de combustible, que l'on allume à l'aide des copeaux en laissant s'établir le tirage entre l'ouverture inférieure, donnant accès à l'air et l'ajutage supérieur faisant l'office de cheminée. Dès que l'allumage est effectué, on ferme les deux orifices et l'on communique le mouvement à la tige du piston du soufflet : l'air, en traversant alors la masse de houille incandescente, active la combustion : la flamme, sous forme d'un dard volumineux, sort à peu près horizontalement de l'ajutage recourbé; lorsque les portions volatilisables de la houille se sont ainsi dégagées en brûlant, il ne reste dans le fourneau que du coke; celui-ci fournirait une flamme trop courte si l'on ne prenait la précaution facile d'ouvrir le robinet qui d'un réservoir supérieur amène un léger filet d'eau. On comprend que l'eau, aussitôt entraînée par le vent du soufflet, vaporisée, se décompose, pourvu que sa quantité ne soit pas trop grande, au contact du coke embrasé; le carbone étant brûlé par l'oxygène de l'eau, il se produit tout d'abord de l'hydrogène et de l'acide carbonique; ce dernier gaz, en présence

de l'excès de carbone, est réduit à l'état d'oxyde de carbone, qui est à son tour brûlé, soit dans le fourneau par le vent du soufflet, soit au dehors en traversant l'air sous la forme d'un dard volumineux. En tout cas, la combustion intérieure ou externe de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone développe une flamme bien plus volumineuse que celle que l'on obtiendrait directement du coke. Sans doute, en définitive, avec une quantité donnée de coke brûlé, on ne *produit* pas ainsi une quantité totale de chaleur plus grande, puisque la chaleur dégagée résultant de la combustion du carbone et des hydrocarbures se trouve sensiblement égale à la quantité de chaleur absorbée dans la transformation de l'eau en vapeur et en gaz; mais le but qu'on se propose est atteint par la production d'une flamme d'un assez grand volume pour effectuer sur de larges superficies et au point convenable, la torréfaction ou carbonisation partielle du bois[1].

Il est d'ailleurs nécessaire, afin d'assurer le succès de l'opération, de pouvoir à volonté faire parcourir plus ou moins vite ou lentement (suivant l'état hygroscopique du bois) à ce volumineux dard de flamme, toute la superficie de la pièce de charpente, par exemple, d'une traverse destinée à la voie d'un chemin de fer et ayant environ 2 mèt. 70 de long, 30 centim. de largeur et 15 centim. d'épaisseur; offrant en somme une surface de 24,750 centim. carrés. La disposition qui permet d'atteindre ce but consiste à placer de champ, sur un banc à rouleaux, la traverse devant le dard de flamme, à environ 15 centim. de son origine. On fait aisément parcourir toute l'étendue de la pièce de bois en la poussant sur les rouleaux; puis, à l'aide d'un levier à contre-poids, on soulève à deux ou trois reprises le fourneau dont la base est supportée par une tige creuse en fonte de 10 cent. de diamètre, longue de 55 cent., qui glisse librement dans deux ouvertures circulaires pratiquées, l'une dans la plaque formant établi, l'autre dans une autre plaque à 30 cent. au-dessous de la première et servant de guide.

On voit que l'on peut ainsi flamber sur deux ou trois bandes horizontales contiguës chacune des quatre faces longitudinales de

1. L'application de ces procédés de carbonisation superficielle avec le gaz, les huiles et la houille pour les préparations des bois destinés aux constructions civiles et à l'industrie, est dirigée par M. Maydieu.

la traverse. Quant aux deux bouts, on les flambe facilement aussi en faisant tourner d'un quart de cercle le fourneau autour de l'axe de la tige cylindrique qui le supporte; les tubes en caoutchouc qui amènent l'air insufflé, ainsi que l'injection d'eau, sont assez longs et assez flexibles pour permettre tous ces mouvements.

La consommation de combustible ne paraît pas dépasser $1^k,5$ par traverse; trois ouvriers suffisent au flambage de 6 traverses par heure, ce qui représenterait une dépense en charbon et main-d'œuvre de 20 centimes, au plus, pour une traverse.

La *lampe chalumeau* n'a pour ces grandes carbonisations qu'une importance secondaire; on l'emploie cependant lorsqu'il s'agit de flamber de nouveau les portions de traverses dont on a enlevé du bois pour la mise en place des coussinets. Cette opération dite le *sabotage* consiste à entailler la surface de la traverse en deux endroits, de façon à ce que sa forme s'applique exactement au coussinet. On doit en outre percer des trous afin de poser les clous qui fixent le coussinet. Ce sont les surfaces entaillées et les trous que l'on carbonise à la lampe après le sabotage.

Le flambage appliqué aux traverses injectées de sulfate de cuivre en prolongera sans doute la durée surtout en prévenant les altérations qui résulteraient de l'élimination partielle ou totale du sulfate de cuivre entraîné par les eaux pluviales[1]. Nous indiquons plus loin un autre moyen d'empêcher par le goudron la déperdition du sulfate de cuivre employé pour la conservation des étoupes et des cordages de chanvre.

Les différentes applications du flambage que nous venons de mentionner en dehors de l'assainissement des cales et de la carbonisation des navires, ne sont pas demeurées à l'état de simples projets.

Déjà les compagnies des chemins de fer d'Orléans et de ceinture autour de Paris ont plusieurs appareils en fonction pour carboniser leurs traverses. Les compagnies de l'Ouest, des Charentes, du Médoc, des chemins espagnols et romains ont fait des commandes d'appareils semblables pour torréfier les traverses

1. Une note que j'ai présentée à l'Académie des Sciences sur la composition du bois d'une roue d'épuisement conservée pendant 1400 ans dans les mines de cuivre et au point convenable, en Portugal, démontre que les lavages à l'eau pure peuvent éliminer la totalité du sulfate de cuivre introduit dans les tissus ligneux. Voyez les Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1864.

et d'autres pièces employées sur la voie ou pour le matériel servant au transport des marchandises. Les directeurs des mines de Bessèges et de la Grand'Combe font carboniser les boisages des puits et galeries, il en est de même de la mine de houille dite *du Produit*, en Belgique.

Les lignes télégraphiques vont commencer à carboniser l'extrémité inférieure des poteaux jusques à 25 ou 30 centimètres au-dessus de la portion implantée dans le sol. Elles obtiendraient une garantie plus grande de longue conservation en traitant de cette manière les poteaux déjà injectés de sulfate de cuivre.

Le système nouveau de conservation des bois à l'aide de la carbonisation superficielle est adopté par l'ingénieur en chef des plantations publiques pour les services de la ville de Paris, notamment aux bois de Boulogne et de Vincennes.

Au point de vue économique, c'est surtout, dit M. de Lapparent, à l'égard des échalas pour les vignes[1] et des perches des houblonnières que la carbonisation présenterait effectivement d'immenses avantages en y joignant un moyen pratique et peu dispendieux pour l'effectuer : il y a en France une superficie de deux millions (au moins) d'hectares cultivés en vignes ; pour chaque hectare il faut dix mille échalas, ce qui porte à 20 milliards le nombre de ceux-ci ou 20 millions de mètres cubes, puisque le millier d'échalas représente environ 1 mètre cube; en supposant aux échalas une durée de 10 ans, ce qui est un maximum, le renouvellement annuel coûterait en somme 60 millions de francs. Il faut en outre chaque année retailler la pointe qui s'est *consommée* ou désagrégée en terre, et ce serait faire une large part à l'activité d'un ouvrier que d'admettre qu'il pût affuter 500 échalas dans le cours d'une journée, de sorte qu'en attribuant à celle-ci seulement une valeur de 1f,50, on voit que la main-d'œuvre totale s'élèverait à une seconde somme de 60 millions. Ainsi la culture de la vigne occasionnerait annuellement en France, pour le renouvellement et l'entretien des échalas, une dépense de 120 millions de francs (60 fr. par hectare).

La dépense relative aux perches des houblonnières est plus considérable encore. Ces perches ont une hauteur de 8 mètres environ et 20 centimètres de tour au pied. Le prix de chaque perche,

1. Sauf le petit nombre de vignobles cultivés sans échalassement.

doublé depuis 10 ans, dépasse 1 fr. aujourd'hui, il en faut 3,500 en moyenne pour un hectare, et on les renouvelle par dizième ; c'est donc pour chaque hectare une dépense annuelle de 350 fr., non compris les frais de réappointage : l'emploi d'un flambage régulier réduirait des deux tiers cette dépense, et une carbonisation annuelle de leur pointe les conserverait presqu'indéfiniment. Le même procédé de carbonisation s'appliquerait sans doute avec avantage aux grosses perches ou poteaux dont se sert M. Schatenmann, dans son ingénieux système de palissage, en lignes, du houblon à l'aide de chaînes en fil de fer zingué.

Calfutage des navires, cables et liens des gerbes en chanvre, sulfaté et goudronné.—La matière première, bourre de chanvre, que l'on emploie pour étancher les joints des diverses pièces en bois de la marine, ne résiste pas longtemps à l'action permanente de l'humidité de l'air et de la température douce. Les matières azotées en fermentant entraînent l'altération de la cellulose; celle-ci se désagrège et se pourrit malgré le goudron dont on l'imprégne. Il en est de même des cordages qui perdent peu à peu sous les mêmes influences de leur poids et de leur force. M. de Lapparent a rendu cette substance filamenteuse beaucoup plus résistante aux réactions précitées en l'imprégnant d'abord d'une solution à 0,02 de sulfate de cuivre, laissant sécher et mettant ensuite le composé cuivrique à l'abri de l'action dissolvante de l'eau par le goudron de bois résineux.

Ce nouveau procédé de conservation des étoupes n'est pas sans quelque analogie avec le moyen pratiqué avec un grand succès depuis plus de 10 ans pour préserver les bâches des voitures et des dépôts de marchandises à l'air : Ce moyen consiste à immerger la forte toile de chanvre dans une solution chaude, contenant 0,2 de savon ordinaire. On retire la toile du bain, on la tord, puis elle est séchée à l'air et plongée dans une solution aqueuse contenant 0,2 de sulfate de cuivre, les acides gras du savon forment des composés insolubles avec l'oxyde de cuivre, les sels alcalins sont enlevés par le lavage et le tissu se trouve ainsi rendu inaltérable aux agents atmosphériques et imperméable à l'eau, sa durée est au moins décuplée.

M. de Lapparent a récemment appliqué son procédé économique de sulfatage et goudronnage à la conservation des corde-

lettes en bourre de chanvre, également trempées d'abord dans une solution de sulfate de cuivre, tordues, séchées, puis imprégnées de goudron. Ces cordelettes ainsi devenues imputrescibles, sont employées par l'inventeur pour remplacer les liens en paille de seigle, destinés à mettre en bottes les produits de la moisson.

On sait que les liens de seigle coûtent environ 15 fr. le cent, et sont en grande partie perdus ou mal utilisés à l'époque du battage des grains. Les cordelettes de chanvre *sulfatées* et *goudronnées* coûtent 1 fr. 50 à 2 fr. le cent, c'est-à-dire environ dix fois moins, et peuvent se conserver très-longtemps et servir à un grand nombre de récoltes ; faciles à porter autour de la ceinture du moissonneur et à employer au moyen d'un crochet en gros fil de fer qui rend le serrage énergique et rapide, elles rendent la main-d'œuvre bien plus économique. M. de Lapparent les a mises en usage pour faire lier toute sa dernière récolte de blé ; il s'occupe de les améliorer encore, notamment en ce qui touche la disposition relative au serrage rendu automatique au moyen d'un petit levier à bascule en bois, sous lequel on engage le bout de la corde qu'il suffit de tirer fortement pour opérer une ligature solide sans l'intervention d'un nœud quelconque[1]. En tout cas, il est probable que cette innovation aura pour notre agriculture une importance très-réelle.

Les expériences, ordonnées par la direction des constructions navales de la marine impériale de France et exécutées à la corderie de Cherbourg, ont permis d'apprécier comparativement les effets du goudronnage et du sulfatage des cables, soit chacun isolément, soit des deux moyens de conservation réunis. En rendant les conditions égales autant que possible, on a soumis des bouts de cordages, longs de $1^{m},50^{c}$ des trois espèces, à l'action du fumier en fermentation dans des caisses de bois incomplétement jointes : les résultats obtenus ont été consignés dans un tableau synoptique où les temps ont été pris pour abscisses, les ordonnées représentant le poids moyen nécessaire à la rupture de chaque cordage. Au bout de trois mois, les cordages, sans

1. Admettant que l'on peut lier en moyenne 5 milliards de gerbes de céréales chaque année en France, la main-d'œuvre étant ainsi réduite de moitié représenterait sur la dépense actuelle (de 40 millions de francs, la journée du botteleur étant payée 4 fr.), une économie de 20 millions de francs.

préparation aucune, étaient presque complétement pourris. A la fin de l'essai, les cordages préparés soit au goudron seul, soit au sulfate de cuivre seul, avaient perdu les uns et les autres environ la moitié de leur force initiale. Quant aux cordages préparés d'abord au sulfate et ensuite goudronnés, ils s'étaient conservés presque intacts, le goudron en fixant le sulfate de cuivre dans les filaments avait ajouté ses bons effets à ceux de cet agent antiseptique. En conseillant de faire de ces cordages des épreuves en grand, le savant ingénieur en chef faisait pressentir l'utilité que pourrait avoir une semblable préparation pour les étoupes destinées au calfatage des navires, la remarquable résistance à la putréfaction du chanvre sulfaté, puis goudronné, devant, sans doute, permettre de faire des calfatages auxquels il ne serait plus nécessaire de retoucher, ce qui levait une des difficultés majeures du problème si complexe des navires blindés.

L'importance de ces sortes de calfatages exacts et durables apparaît plus évidente encore lorsqu'on se représente l'énorme quantité de bois qu'exige la construction des navires cuirassés, quantité qui s'accroît à mesure qu'augmente l'épaisseur des parois sous l'enveloppe protectrice.

On croyait, à cet égard, avoir atteint le maximum, en Angleterre, au moment où le *Warrior* fut lancé : les parois de ce vaisseau ont une épaisseur de 6 pouces (15c,235 [1]) en métal, recouvrant 27 pouces de bois de *teak*. Mais, depuis cette époque, on a proposé, pour un des navires en chantier, de porter l'épaisseur de la muraille en bois à 32 pouces, et de la revêtir d'une armure en fer épaisse de 6 pouces. Une des cinq escadres britanniques sera composée, dit-on, de sept de ces puissants navires cuirassés.

1. Le pouce anglais = 2c,5397.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

COMPARATIVES

FAITES SUR

DIVERS SYSTÈMES DE POMPES

DESTINÉES AUX IRRIGATIONS.

PAR M. H. TRESCA.

Au commencement de l'année 1864, MM. Didier et Dervieu d'Alexandrie ont fait exécuter par divers constructeurs des pompes destinées à fournir, le long des rives du Nil, l'eau nécessaire aux irrigations si importantes en Égypte. Les conditions générales auxquelles devaient satisfaire ces appareils consistaient dans une grande facilité de transport d'un point à un autre, et dans l'élévation d'une quantité d'eau déterminée, 280 mètres cubes par heure, avec une aspiration de 6 mètres au minimum.

Cette double obligation rendait la construction des appareils fort difficile, et plusieurs systèmes ayant été présentés, nous avons, avec empressement, saisi l'occasion qui nous était offerte d'examiner expérimentalement ces différents systèmes, fonctionnant dans des conditions analogues, et d'exprimer notre opinion sur leur valeur pratique.

Nous nous proposons dans ce résumé d'examiner la question, au point de vue technique seulement, les nombreux chiffres que nous avons dû constater, dans le cours de ces expériences, pouvant présenter un réel intérêt.

Il n'était pas facile de trouver un bassin convenable pour opérer avec 6 mètres d'aspiration, et nous avons à nous féliciter de ce que l'administration des ponts et chaussées a bien voulu

mettre à notre disposition le bassin de condensation des machines de Chaillot.

Les eaux s'y maintiennent habituellement au niveau même des eaux de la Seine; mais on peut momentanément relever ce niveau, au moyen d'une vanne de barrage, de manière à faire varier la hauteur d'aspiration par rapport aux machines qui sont placées sur la berge. Les dimensions transversales de ce bassin étaient d'ailleurs suffisamment grandes pour que le niveau variât très-peu pendant la durée d'une expérience et pour qu'on pût considérer le niveau moyen comme applicable à toute cette durée.

Les diverses pompes ont été successivement placées sur le bord du bassin; on déterminait avec soin la hauteur du déversement au-dessus d'un repère fixé au-dessus du sol, et l'on mesurait directement la profondeur de l'eau du bassin à partir de ce même repère; la somme des deux hauteurs est désignée dans toutes les expériences sous le titre de hauteur de l'élévation de l'eau.

Le jaugeage de l'eau débitée laisse davantage à désirer. L'eau fournie par la pompe était reçue dans une grande caisse rectangulaire, de 2 mètres de longueur, percée sur l'une de ses parois d'un orifice de $0^m,40$ de large, et dont la hauteur pouvait varier, au moyen d'une vanne, dont on réglait chaque fois l'ouverture de manière à maintenir dans la caisse un niveau constant. Par les formules ordinaires de l'hydraulique, on calculait le débit par l'orifice ainsi réglé; mais on a pu commettre quelques erreurs de ce côté, parce que l'eau était toujours en mouvement à la surface, par suite des dimensions insuffisantes de la caisse par rapport au volume d'eau débité. On verra cependant que les résultats sont assez concordants et que les erreurs d'observation, sous ce rapport, ne doivent pas être considérables.

Les pompes étaient mises en mouvement par des machines locomobiles, transmettant leur action par courroies. L'une des locomobiles était construite par M. Hubert; l'autre sortait des ateliers de M. Frey. Pendant chaque expérience, on a compté, en même temps que le nombre des tours de la pompe, le nombre des tours de la machine locomobile; on a enregistré la pression et le cran de la détente; enfin on a relevé un ou plusieurs diagrammes à l'indicateur, afin de pouvoir ultérieurement en déduire la valeur du travail indiqué.

A la fin des essais, on a fait une expérience spéciale au frein, dans laquelle, par la comparaison entre le travail disponible, mesuré par cet appareil, et le travail indiqué, mesuré par les diagrammes correspondants, on a pu obtenir un coefficient de réduction permettant de calculer la quantité de travail réellement dépensé par les pompes, pour chaque surface de diagramme.

Les pompes à essayer étaient au nombre de 5, et nous devons tout d'abord les décrire. Les trois principales sont représentées, planche 2, figures 1 à 4.

Les figures 1 et 2 représentent la pompe à piston de M. Hubert; la figure 3 l'une des pompes rotatives de M. Malo-Belleville; la figure 4, la plus grande des deux pompes de M. Coignard et Cie.

Toutes ces machines étaient montées sur des trains qui permettaient leur déplacement facile, et nous indiquerons, en les décrivant, les particularités principales de leur construction. On voit déjà qu'il s'agissait de comparer le fonctionnement d'une grande pompe à piston, à divers systèmes de pompes à force centrifuge.

Pompe de M. Hubert. — La machine de M. Hubert (*fig.* 1 et 2) se composait d'une sorte de charrette, montée sur deux roues à larges jantes, manœuvrée par un brancard analogue à ceux des machines locomobiles, et portant sur une large plaque de fondation deux corps de pompe AA placés horizontalement.

Les deux pompes sont à double effet; le diamètre de chaque corps est de $0^{m}.36$; la course commune est de $0^{m}.60$, et les tiges des pistons sont reliées, par des bielles en retour BB, à deux manivelles CC calées à angle droit sur le même arbre horizontal, maintenu dans de forts paliers du côté du brancard.

A l'opposé se trouve la naissance du tuyau d'aspiration, présentant une bouche horizontale M, du diamètre de $0^{m}.20$, et directement en communication avec les boîtes N des clapets d'aspiration. Les clapets de refoulement P sont placés au-dessus des pompes dans une boîte commune O, par l'un des bords de laquelle doit se faire le déversement de l'eau élevée.

La surface de chaque piston n'est pas moindre que $0^{mq}.101\,788$; le volume engendré à chaque coup de piston est $0^{mc}.040\,715$, et

par conséquent le débit théorique de la pompe doit être de $0^{mc}.162\,860$ ou de près de 163 litres par tour.

Les clapets sont très-grands; leur surface est mesurée par le produit $0^{m}.18 \times 0^{m}.35 = 0.0630$; mais ils ne sont jamais ouverts qu'aux deux tiers, auquel cas leur ouverture est encore égale à $0^{mq}.0420$, c'est-à-dire aux deux cinquièmes environ de la section d'un des corps de pompe.

L'arbre des bielles supporte, en son milieu, une grande poulie S de $1^{m}.30$ de diamètre et de $0^{m}.22$ de largeur. C'est sur cette poulie qu'est placée directement la courroie de la locomobile, et l'on voit ainsi que le nombre des organes de transmission est aussi réduit que possible. Cette transmission par courroies a cependant présenté de sérieux embarras pendant les expériences; les trépidations de la pompe ont souvent déterminé le glissement de la courroie sur la jante de la poulie, surtout lorsque le cuir, en commençant à se mouiller, venait à se déformer sous l'action d'une tension exagérée.

Lors des expériences, la bouche du tuyau d'aspiration avait été prolongée par un coude en métal, raccordé à un grand tuyau vertical d'aspiration, en cuir, plongeant, sans clapet de retenue, dans l'eau du bassin d'alimentation.

Pompes de MM. Malo-Belleville et Cie. — Trois pompes de ces constructeurs ont été successivement essayées : elles étaient toutes trois du système à force centrifuge, dit *système de Gwyne*, bien qu'elles présentassent entre elles quelques différences au point de vue de la forme des aubes, qui étaient droites ou courbes.

Dans la figure 3, ces aubes sont à peu près droites dans le sens du rayon, mais elles sont un peu courbes dans le sens perpendiculaire, affectant ainsi la forme d'une surface gauche, assez analogue à celle des ailes de moulin à vent.

La figure indique suffisamment, par une coupe longitudinale et par une coupe verticale, la disposition générale de l'appareil.

Les aubes AA sont montées sur un tourteau conique B, disposé de manière à former le moindre obstacle aux mouvements de l'eau affluente, et le volant ainsi construit est calé sur un arbre horizontal CC, guidé dans deux boîtes à étoupes, et reposant sur deux coussinets, munis de paliers graisseurs *cc* bien dispo-

sés. La poulie motrice D, de petit diamètre, est placée entre ces deux coussinets, et ses dimensions indiquent déjà que l'appareil doit fonctionner, surtout pour une aspiration de 6 mètres, avec une grande rapidité.

L'eau est entraînée par les palettes, et, en vertu de la force centrifuge qui lui est communiquée par cette rotation rapide, elle doit s'élever par la tubulure O, par laquelle se termine, à la partie supérieure, la boîte MNO, dans laquelle se meuvent les palettes. L'eau aspirée dans le conduit inférieur M se distribue dans les deux conduits d'amenée NN; elle vient ainsi en contact avec le tourteau B et les ailes A, et se trouve lancée par elles dans la capacité centrale P, en communication libre avec l'orifice de refoulement O.

L'ensemble de cette disposition est bien groupé, et constitue certainement, parmi les trois types que nous avions à comparer, l'installation la plus transportable. Il suffit de placer, sur un petit chariot, la plaque de fondation de cette pompe pour qu'elle puisse être transportée avec facilité, et, pourvu que le tablier du chariot soit percé d'un trou correspondant à l'orifice M, il suffira d'établir un tuyau d'aspiration à la suite de cet orifice, pour que la pompe puisse fonctionner.

Ajoutons cependant que ce système de pompe ne peut s'amorcer de lui-même; il faut, lors de la mise en train, remplir d'eau la totalité du conduit d'aspiration, noyer même la turbine jusqu'au-dessus de son axe, et la pompe se viderait infailliblement, à chaque temps d'arrêt, si un clapet de pied n'était disposé à la partie inférieure de la conduite.

La pompe à aubes planes, essayée le 18 mars, avait six ailes d'un rayon de $0^{m}.42$; les aubes courbes de la pompe du 26 mars avaient seulement un rayon de $0^{m}.40$. La plus grande largeur des ailes était de $0^{m}.20$ seulement. L'orifice de sortie avait dans les deux cas $0^{m}.20$ de diamètre; l'orifice inférieur était ovale; il mesurait à l'intérieur $0^{m}.23 \times 0^{m}.36$, et il était prolongé, d'abord par un coude en métal de $0^{m}.40$ de rayon, puis par un tuyau en cuir, horizontal, de $0^{m}.20$ de diamètre, sur une longueur de 4 mètres environ, enfin, par un tuyau vertical également en cuir.

Pompes de M. Coignard et Cie. — La pompe dite *hélicoïde-cen-*

trifuge de M. Coignard, qui est représentée *fig.* 4, se compose d'un arbre horizontal C, portant à la fois la poulie motrice D et les aubes hélicoïdes A, mobiles dans une sphère creuse E, qui sont destinées à entraîner l'eau dans leur mouvement et à déterminer sur elle une action centrifuge plus ou moins énergique.

L'eau arrive par un conduit, perpendiculaire au plan de la figure, qui la distribue dans les deux capacités N qui enveloppent l'arbre C. Après avoir été entraînée par le mouvement des palettes ou cloisons A, cette eau est rejetée par la force centrifuge, à travers une fente étroite, dans une capacité annulaire en forme de tore EF, qui entoure la boîte centrale E.

Cette capacité annulaire est en communication constante avec le tuyau de refoulement O, sur lequel on avait établi, lors de nos expériences, un réservoir de déversement d'où l'eau élevée était dirigée dans la caisse de jaugeage dont il a déjà été question.

Ces premières indications font voir que le principe général de cette machine est, sauf les modifications de forme, le même que celui sur lequel sont fondés les différents appareils élévatoires dits à force centrifuge; mais la pompe de M. Coignard se distingue de toutes les autres par un certain nombre de détails que la figure nous aidera à faire comprendre plus facilement.

1° Les coussinets *c* de l'arbre moteur sont disposés de manière à former de véritables boîtes à huile dans lesquelles les frottements sont atténués autant que possible.

2° Pour éviter toute rentrée d'air par les boîtes à étoupe de cet arbre, M. Coignard a mis ces boîtes *dd* en communication, par les tuyaux *d'd'*, avec le réservoir en forme de tore dans lequel l'eau est toujours soumise à une certaine pression ; cette pression se transmet ainsi à l'extérieur des garnitures, les force à s'appliquer contre l'arbre, et ferme par conséquent, d'une manière hermétique, toute communication à l'air extérieur. Cette disposition rappelle, pour une application différente, les joints à pression que M. du Tremblay a employés avec succès dans ses machines à éther, où il était absolument nécessaire d'éviter toute fuite de vapeur.

3° L'addition la plus importante et tout à fait digne d'intérêt est une disposition à l'aide de laquelle M. Coignard a cherché à se mettre à l'abri des inconvénients résultant du cantonnement de l'air autour des ailettes.

Lorsqu'un certain volume d'air a été amené autour de l'axe, soit par suite de l'aspiration directe de cet air, soit par suite du dégagement, pendant le fonctionnement même, d'une partie de de l'air dissous dans l'eau affluente, on sait que cet air, en raison de sa faible densité, n'étant pas expulsé par l'action de la force centrifuge, séjourne autour de l'axe en mouvement, et en prenant ainsi la place de l'eau sur laquelle devraient agir les palettes, il diminue et peut même arrêter absolument le jeu de l'appareil. Cet effet est surtout à craindre dans les pompes destinées aux épuisements, lorsque la profondeur d'eau est faible et que par conséquent l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration peut être accidentellement émergée.

Pour éviter cette cause d'arrêt, à laquelle on ne peut en général remédier qu'en arrêtant momentanément la machine, M. Coignard emploie une petite pompe accessoire P, dont le tuyau d'aspiration débouche dans la capacité sphérique, près de l'axe et aussi près des aubes que le permet le fonctionnement de ces pièces mobiles. Cette pompe aspire, à chaque coup de piston, de l'eau ou de l'air pris au centre de l'appareil et les rejette au dehors. Si c'est de l'eau qu'elle extrait, la perte est insignifiante; si c'est de l'air, au contraire, cette extraction remédie complétement aux inconvénients que nous venons de signaler.

Cette pompe accessoire peut aider aussi à l'amorçage, et nous verrons qu'il est quelquefois utile de l'employer, en sens inverse, pour remplir toute la canalisation, un peu avant la mise en train.

La marche de cette pompe est d'ailleurs commandée par la vis sans fin c' calée à l'extrémité de l'arbre C, et par la bielle p, mise en mouvement par un bouton de manivelle fixé au pignon qui engrène avec cette vis.

Les pompes de M. Coignard se faisaient surtout remarquer par la perfection de l'exécution. Tous ses tuyaux en tôle étamée, réunis par des brides et des boulons à bascule, avec joints en caoutchouc ou en chanvre, ne laissaient absolument rien à désirer sous le rapport du travail, et lorsqu'il s'agit de pompes aspirant à une grande profondeur, ces accessoires ont une importance réellement très-grande.

Les deux machines expérimentées portent, dans la série des machines de M. Coignard, les numéros 5 et 7. Dans le n° 7, le diamètre intérieur de la sphère centrale est $D = 0.48$, celui du

cercle générateur du tore D′ = 0.32; tous les tuyaux ont le même diamètre $d = 0.20$.

Le diamètre de la poulie motrice est 0m.38; la pompe dite extracteur d'air a une course de 0m.19 et un diamètre de 0.125; elle ne donne qu'un coup de piston pour 19 tours de l'arbre principal.

Pour la petite pompe n° 5, on a D = 0.32, D′ = 0.18, $d = 0.18$.

Le diamètre de la poulie motrice est 0.23; la course de la pompe à air 0.12; son diamètre 0.08; elle donne un coup de piston pour 17 tours de l'arbre principal.

A partir de la crépine d'aspiration jusqu'au débouché de la pompe, la canalisation mesurait près de 10 mètres; mais l'aspiration seule ayant généralement dépassé 6 mètres, on voit que, dans les conditions des expériences faites, il était impossible de diminuer la longueur des tuyaux.

Machine locomobile construite par M. Hubert. — La machine locomobile qui a servi à la plupart des essais et plus particulièrement à tous les essais définitifs, sort des ateliers de M. Hubert. Elle est à deux cylindres, placés horizontalement sur le dos de la chaudière; le diamètre de ces cylindres est D = 0m,175; la course des pistons C = 0,280.

D'après ces éléments, la surface de chacun de ces pistons est E = 0mq,024 052, et le volume de chaque cylindre V = 0,006 743 mètre cube. La vapeur agit, dans les deux cylindres, à détente variable, au moyen de la disposition à arrêt connue généralement sous le nom de détente Farcot, mais cette détente ne peut en réalité varier qu'entre le dixième et le tiers de la course.

La chaudière a un grand développement de surface de chauffe, 22 mètres carrés; aussi suffit-elle amplement pour développer jusqu'à 20 chevaux effectifs, même pendant un travail continu.

Dans l'essai au frein, qui a été prolongé pendant une journée tout entière, elle a développé en moyenne 17,03 chevaux effectifs, mais ce travail aurait pu être augmenté, si l'on n'avait tenu, lors de ces essais, à ne pas dépasser la quantité de travail qui devait être à peu près dépensée par le fonctionnement des pompes.

L'alimentation de la chaudière s'effectue au moyen d'un injecteur Giffard; on aurait pu, quoique cet appareil fonctionne bien,

ne pas se priver du secours d'une pompe alimentaire en cas de besoin.

L'arbre moteur est doublement coudé pour servir de manivelle aux deux bielles et il porte à ses extrémités deux poulies motrices, dont l'une sert de volant, et qui ont respectivement pour diamètres D = 1ᵐ.30 et D' = 0ᵐ.42.

Le poids de toute cette machine locomobile, construite cependant d'une manière robuste ne dépasse pas 2500 kilogrammes.

Cette machine étant destinée à accompagner les pompes fournies par les différents constructeurs, nous avons cherché à nous rendre compte de la puissance réelle disponible, de la quantité de travail développé par la vapeur sur les pistons, du rapport entre le travail effectif et le travail ainsi développé, c'est-à-dire du coefficient de rendement de la machine, enfin de la quantité de charbon et de la quantité d'eau dépensée par cheval et par heure. Toutes ces déterminations ont été faites le même jour, en travail continu : à l'expiration de chaque quart d'heure on a tracé un diagramme à l'indicateur et relevé le nombre de tours au compteur ; la consommation de charbon a été pesée pendant toute la durée de l'expérience, celle de l'eau seulement pendant une heure.

Le frein employé, lubrifié avec du suif en branches, s'est maintenu dans un excellent état d'équilibre, la plupart du temps sans toucher ni l'arrêt inférieur, ni l'arrêt supérieur qui limitaient sa course.

Le bras de levier du frein, maintenu horizontal au-dessous de l'arbre moteur, avait une longueur L = 1ᵐ,50 et il a été constamment chargé du poids de 62 à 65 kilogrammes. Le tableau suivant reproduit tous les chiffres obtenus pendant cette expérimentation.

Tableau des observations faites sur la marche de la locomobile à deux cylindres de M. Hubert, le 16 mars 1864.

HEURES des observations.	PRESSIONS à la chaudière.	NOMBRE de tours indiqués par le compteur.	CHARGE totale du frein.	NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes
h. m.	atm.		k.		mil.
12.12	6.30	22 895	62	»	»
12.15	6.40	23 319	62	1	36.18
12 30	6.50	25 440	62	2	35.35
12.45	6.65	27 615	62	3	35.25
12.50	»	28 425	65	»	»
1.00	6.40	29 655	65	4	33.86
1.15	6.05	31 435	65	5	34.77
1.30	6.20	33 290	65	6	33.53
1.45	6.35	35 225	65	7	32.64
2.00	6.50	37 205	65	8	32.45
2.15	6.50	39 050	65	»	»
2.30	6.40	41 030	65	»	»
2.45	6.35	42 780	65	9	33.80
3.00	6.15	44 690	65	10	33 30
3.15	6.35	46 650	65	11	33.43
3.30	6.40	48 440	65	12	33.87
3.32	6.40	»	65	13	34.80
3.45	6.40	50 235	65	»	»
4.00	6.40	51 935	65	»	»
4.15	6.10	53 605	65	14	36.60
4.22	6.10	54 365	65	15	33.27
4.20	6.30	55 255	65	16	35.10
4.45	6.20	57 140	65	17	33.23
5.00	6 15	58 960	65	»	»
5.12	6.35	60 500	65	18	33.33
Tours non	enregistrés.	200	»	»	»
5.00	6.326	37 805	»	»	33.67

Les résultats qui résultent des chiffres qui précèdent peuvent être résumés de la manière suivante :

HEURES DES EXPÉRIENCES	DE 12h.12 A 12h.50	DE 12h.50 A 5h.12
Charge au frein	62k	65k
Travail par tour, correspondant	584km.338	612km.612
Nombre de tours moyen par minute	145 .50	123 .18
Nombre de tours par seconde	2 .425	2 .053
Travail par seconde, en kilogrammètres	1411 .88	1257 .69
Travail par seconde, multiplié par le temps total	53651 .44	329514 .78
Travail moyen par seconde pendant toute la durée de l'expérience.		1277k.22
Travail moyen en chevaux		17 .03
Combustible brûlé, total		302 .00

Combustible brûlé par cheval et par heure....................	$3^{k}.546$
Eau dépensée en une heure..............................	$369^{l}.00$
Travail moyen pendant cette heure........................	$16^{ch}.77$
Eau dépensée par cheval et par heure.....................	$22^{k}.01$

Quant à l'évaluation du travail indiqué, elle doit se faire ainsi qu'il suit :

Le piston de l'indicateur avait une surface de $0^{mq},0001$ et la tare du ressort de l'indicateur avait montré que chaque millimètre de flexion correspondait à un effort de $0^{k},109$.

Pour chaque millimètre de flexion, le travail développé à chaque coup de piston est donné par le produit

$$0,28 \times 481,04 \times 0,109 = 14,9670 \text{ kilogrammètres,}$$

et le travail par tour, pour une flexion moyenne de 33,67 millimètres, devra se calculer par le produit

$$14,9670 \times 2 \times 33,67 = 1007,8778 \text{ kilogrammètres.}$$

Connaissant ce travail indiqué moyen, il faut maintenant le comparer au travail effectif par tour, mesuré au frein, soit 612,612 kilogrammètres, et en divisant ce nombre par le précédent on trouve que la mesure du travail effectif est donnée en multipliant par le coefficient 0,6078 celle du travail indiqué. C'est donc ce coefficient qu'il conviendra d'employer, dans toutes les expériences qui s'écarteront peu des conditions actuelles, pour déduire des diagrammes relevés dans chaque cas une évaluation du travail en chevaux, dépensé pour faire fonctionner l'une des pompes attelées successivement à la machine locomobile.

D'autres expériences ont été faites à des vitesses et avec des détentes notablement différentes, mais il serait inutile de les rapporter ici, parce qu'elles n'intéressent pas la question de l'effet utile des pompes, qui est le but principal de ce compte rendu.

Nous dirons seulement qu'après rectification d'une première erreur de réglage, tous les diagrammes ont montré que la détente s'effectuait régulièrement, et que la contre-pression, un peu grande en commençant, était d'une demi-atmosphère environ à la fin de la période d'échappement.

Établissement du bassin de jaugeage. — On n'a pu donner au

bassin de jaugeage les dimensions les plus favorables, son installation à la place dont nous disposions ayant présenté quelques difficultés. Il était formé d'une grande caisse rectangulaire en bois dont les dimensions étaient : longueur 2^m205 ; largeur 1^m400 ; hauteur 1^m010. La section horizontale de ce bassin était réduite par les montants d'assemblage, par les coulisses du vannage et par la vanne elle-même, à 3 mètres carrés, et cette surface aurait été parfaitement suffisante si l'eau n'avait dû y arriver en aussi grande quantité et à une aussi grande vitesse. Pour obvier autant que possible aux mouvements qui se produisaient à la surface, l'eau affluente était conduite dans un compartiment séparé, communiquant par la partie inférieure seulement, avec le compartiment dans lequel le vannage était établi et dans l'un des angles duquel les variations du niveau étaient exclusivement observées.

La paroi par laquelle s'effectuait l'écoulement était formée d'une planche de 0,03 d'épaisseur, percée dans le bas d'un orifice rectangulaire de 0,40 de large sur une égale hauteur. Sur les côtés de cet orifice on avait rapporté deux tasseaux de 0,025 d'épaisseur, présentant du côté de l'assemblage une rainure de 0,021. La vanne proprement dite était verticale, formée d'une planche de 0,020, glissant dans les rainures précédentes, et pouvait être manœuvrée par une tige unique, d'une section de $0{,}035 \times 0{,}120$, dont les arêtes avaient été enlevées au rabot ; la position de cette tige et par conséquent celle de la vanne elle-même était assujettie au commencement de chaque expérience, de manière à régler l'ouverture à une hauteur fixée d'avance.

On voit par cette description que la veine était contractée sur trois côtés, mais qu'il n'y avait pas de contraction sur le fond, et ce sont ces circonstances qui, après discussion avec les constructeurs, nous ont amené à adopter d'une manière générale 0,067 pour coefficient constant de la dépense dans le calcul de tous les débits mesurés par ce vannage.

Expériences sur la pompe à piston de M. Hubert. — Deux séries d'expériences préparatoires ont été faites les 26 février et 2 mars 1864, mais elles n'ont pas offert le caractère de continuité convenable, tant par suite de l'insuffisance de la transmission, qu'à cause de la durée trop restreinte de chaque obser-

vation, qui ne permettait pas de tenir un compte exact des irrégularités de vitesse qui pouvaient se produire.

Les expériences définitives ont été faites les 2 et 23 mars. La première fois, la poulie motrice de la pompe était commandée directement par une courroie montée sur le volant de la locomobile, mais la vitesse des pistons était alors trop grande et le fonctionnement donnait lieu à des à-coups trop marqués, qui étaient de nature à faire craindre une détérioration rapide des principaux organes, si le fonctionnement ne pouvait être ralenti. Pour obvier à cet inconvénient, M. Hubert a fait installer un pignon intermédiaire sur le bâti de la pompe. Le diamètre de la poulie motrice était alors D = 0,74 et le pignon de 14 dents qui était solidaire avec cette poulie, agissait sur une roue de 54 dents calée sur l'arbre des manivelles. La diminution de vitesse qui en est résultée s'est traduite par une réduction notable du débit; elle n'a pas conduit en apparence à un rendement plus favorable, mais les chocs ont en grande partie disparu, et nous avons dû conclure des nouveaux essais que la pompe était en état convenable pour fonctionner, sans danger, à raison de 35 tours par minute, et qu'elle satisferait, dans ces conditions, à un débit, déjà considérable, de 300 mètres cubes à l'heure

Voici, du reste, le tableau numérique de toutes les données relatives à ces deux séries d'expériences.

Tableau des expériences faites sur la pompe à pistons de M. Hubert.

DÉSIGNATION.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES DU 2 MARS.					NUMÉROS DES EXPÉRIENCES DU 23 MARS.					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Pression dans la chaudière.	$6^{at}.40$	»	7.30	6.75	6.75	»	»	»	»	»	»
Ordonnée moyenne des diagrammes.	$26^{mm}.7$	»	29.12	25.4	31.2	$30^{mm}.46$	29.90	30.06	30.09	29.41	27.74
Nombre de tours de la machine par 1'.	122	»	141	132	80	118	128	117	106	87	75
Nombre de tours de la pompe par 1'.	44.5	41.5	49.7	51.0	33.2	46.0	50.7	47.0	41.0	32.0	28.0
Rapport des nombres de tours.	2.517	»	2.837	2.588	2.410	2.565	2.524	2.489	2.585	2.719	2.679
Niveau de l'eau dans le réservoir de jaugeage.	$0^{m}.399$	0.388	0.441	0.405	0.273	$0^{m}.284$	0.410	0.378	0.327	0.255	0.330
Ouverture de la vanne.	$0^{m}.15$	0.15	0.15	0.15	0.15	$0^{m}.15$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10
Débit de la pompe par 1''.	$101^{l}.34$	99.66	107.66	103.03	79.52	$92^{l}.97$	103.03	96.88	88.36	74.69	67.67
Débit de la pompe par tour.	$136^{l}.58$	144.02	130.04	120.93	143.70	$121^{l}.26$	121.93	123.68	129.31	140.04	145.6
Débit de la pompe par heure.	$364^{mc}.82$	358.78	387.58	377.09	286.27	$334^{mc}.69$	370.91	348.77	328.10	268.88	243.61
Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	$6^{m}.55$	6.55	6.55	6.55	6.15	$5^{m}.95$	5.70	5.85	6.20	6.50	6.50
Travail en eau montée.	$8^{ch}.85$	»	10.02	8.90	6.52	$7^{ch}.37$	7.83	7.56	7.30	6.47	5.87
Travail dépensé.	$13^{ch}.03$	»	16.60	13.55	10.09	$13^{ch}.88$	15.47	14.22	12.89	10.34	8.41
Effet utile de la pompe.	0.679	»	0.603	0.657	0.646	0.531	0.506	0.532	0.566	0.626	0.696

Nous compléterons ces indications en disant succinctement comment les différents chiffres de ces tableaux ont été obtenus ou calculés. Chacune des expériences qui y figure a duré pendant 5 minutes, et le nombre des diagrammes obtenus pendant ce temps a varié de 3 à 6.

La pression dans la chaudière a été lue sur le même manomètre étalon qui devait être employé plus tard dans les expériences au frein.

L'ordonnée moyenne des diagrammes a été déduite, pour chaque expérience, de la quadrature de tous les diagrammes obtenus pendant sa durée.

Le nombre des tours de la machine était directement compté par un observateur, pendant 5 minutes, celui des tours de la pompe était marqué par un compteur que l'on embrayait et que l'on débrayait à un signal convenu.

Le niveau de l'eau dans le réservoir de jaugeage était mesuré fréquemment pendant l'expérience à l'aide d'une règle fixe, graduée à la manière des mires parlantes; deux observateurs notaient simultanément le chiffre qu'ils observaient et le nombre inscrit représente la moyenne de toutes ces annotations.

L'ouverture de la vanne était réglée avant l'opération avec le plus grand soin.

L étant la largeur de l'orifice, A sa hauteur, le débit en mètres cubes par seconde était calculé par la formule $Q = 0,67\ AL\sqrt{2gH}$, en désignant par H la hauteur du niveau au-dessus du centre de l'orifice. Les nombres inscrits dans les deux lignes suivantes se déduisent directement des données précédentes et de la valeur de Q.

La hauteur totale à laquelle l'eau était élevée était mesurée, à chaque expérience, au moyen d'un coup de niveau pour la hauteur au-dessus du sol, et au moyen d'une corde lestée pour la distance entre le sol et le niveau de l'eau dans le grand bassin d'alimentation.

Le travail en eau montée a été d'abord calculé en kilogrammètres en faisant le produit de cette hauteur par le débit en une seconde; puis ce produit a été divisé par 75 pour exprimer le travail en chevaux, parce que, sous cette forme, on se rend mieux compte de l'ensemble des faits et du travail réellement produit.

Enfin, le travail dépensé a été calculé d'après l'ordonnée

moyenne du diagramme, ainsi qu'il suit : dans la dernière expérience du 23 mars, que nous prendrons pour exemple, les 5 diagrammes obtenus successivement avaient fourni pour ordonnée moyenne les chiffres suivants : 27.87; 27.85; 26 80; 27.30; 28.88; dont la moyenne est 27.74 millimètres; le produit de cette ordonnée moyenne pour le nombre de tours de la machine par 1'' est $27.74 \times \frac{75}{60} = 34.67$. Le produit correspondant pour la seconde partie de l'expérience de tare de la locomobile est $33.67 \times 2.053 = 69.1245$, et ce produit correspondait à un travail effectif mesuré au frein de 16.77 chevaux. Nous aurons la mesure du travail en chevaux, dans l'expérience spéciale qui nous occupe, par l'expression

$$\frac{34.67 \times 16.77}{69.1245} = 8^{ch}.41.$$

C'est le chiffre qui a été inséré dans le tableau ; tous les autres ont été calculés de la même façon.

Enfin le rapport entre le travail produit en eau montée et le travail effectif fourni par la machine motrice, nous a donné, pour chaque cas, l'évaluation de l'effet utile de la pompe et de son coefficient de rendement.

Ayant ainsi expliqué les divers éléments qui entrent dans les tableaux d'expériences, il est nécessaire d'ajouter que ces nombreux éléments sont assez difficiles à saisir dans un travail qui dure à peine quelques minutes, alors qu'il faut, tout à la fois, compter le nombre de tours de la pompe et de la machine, tracer des diagrammes, et observer le niveau dans le réservoir de jaugeage. Il ne faut donc pas s'étonner si les résultats ne sont pas absolument concordants, mais tels qu'ils sont, ils suffisent certainement pour donner, sur le fonctionnement de la pompe en service courant, des indications sérieuses.

Le travail de la machine à vapeur s'est élevé jusqu'à 16 chevaux dans les essais du 2 mars; il n'a pas dépassé 15.47 chevaux dans celle du 23. Le rendement de la pompe a varié entre les chiffres extrêmes de 0.506 et de 696, et l'on voit nettement, surtout dans la dernière série, comment ce rendement augmente à mesure que la vitesse diminue. En limitant la vitesse de la pompe à 32 tours par minute, il nous semble certain que l'on

obtiendra industriellement un effet utile de 60 pour cent pour une hauteur de 6 mètres d'aspiration. La pompe fournirait dans ces conditions plus de 250 mètres cubes à l'heure, et l'on n'avait encore construit aucune pompe portative d'un aussi grand débit.

Pompes à force centrifuge de M. Malo Belleville et Cie. — Les premiers essais de l'une des pompes de Gwyne, installée par M. Malo Belleville et Ce, ont eu lieu dans le mois de février. Cette pompe était mise en mouvement par une machine locomobile de M. Frey, qui a très bien fonctionné et sur laquelle nous avons pu relever quelques diagrammes. Le départ de cette locomobile nous a enlevé le moyen de déterminer son coefficient de rendement, et dès lors ces premières expériences doivent être considérées comme préparatoires. Elles établissent seulement que la pompe a débité de 73 à 100 litres par seconde, en fonctionnant à une vitesse de 420 à 460 tours par minute : nous retrouverons des indications analogues dans les expériences plus complètes qui ont été faites ultérieurement.

Le 9 mars, 8 expériences ont été faites sur la pompe à aubes planes, mais cinq seulement d'entr'elles ont fourni des diagrammes, et ce sont les seules que nous rapporterons dans les tableanx ci-joints; parmi les 6 expériences du 26 mars sur la pompe à aubes courbes, nous n'avons obtenu que trois séries de diagrammes, mais nous avons néanmoins relaté toutes les circonstances relatives au débit pour les cas dans lesquels l'indication du travail nous a manqué.

Tableau des expériences faites sur les pompes à force centrifuge de M. Malo Belleville et Cie.

DÉSIGNATION.	Pompe à aubes planes. NUMÉROS DES EXPÉRIENCES DU 9 MARS.					Pompe à aubes courbes. NUMÉROS DES EXPÉRIENCES DU 26 MARS.					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Pression dans la chaudière. .	6^{at}.25	6.25	6.00	6.00	6.00	7^{at}.25	7.00	»	»	»	»
Ordonnée moyenne des diagrammes.	38^{mm}.64	35.64	32.44	31.08	28.48	»	39^{mm}.51	42.06	40.68	»	»
Nombre de tours de la machine par 1'.	93	100	94	95	94	113	112	112	113	113	113
Nombre de tours de la pompe par 1'.	387	382	375	380	382	419	416	415	418	419	420
Rapport des nombres de tours.	4.16	3.82	4.00	4.00	4.06	3.70	3.71	3.70	3.78	3.70	3.71
Hauteur de l'eau dans le bassin de jaugeage.	0^{m}.245	0.230	0.160	0.200	0.220	0^{m}.345	0.359	0.350	0.316	0.310	0.340
Ouverture de la vanne.	0^{m}.12	0.12	0.12	0.10	0.10	0^{m}.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Débit de la pompe par 1''. .	61^{l}.27	59.59	55.35	45.96	48.94	92^{l}.50	93.34	93.34	87.39	86.31	91.66
Débit de la pompe par tour.	9^{l}.50	9.36	8.85	7.25	7.69	13^{l}.01	13.46	13.50	12.54	12.38	13.09
Débit de la pompe par heure.	220^{mc}.55	214.53	199.25	165.46	176.17	333^{mc}.20	336.04	336.04	314.62	311.71	329.96
Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	6^{m}.71	6.66	6.73	6.78	6.79	7^{m}.23	7.04	6.92	7.60	7.69	7.14
Hauteur d'aspiration.	5^{m}.76	5.71	5.78	5.83	5.84	6^{m}.81	6.02	5.90	6.58	6.67	6.12
Travail en eau montée. . . .	5^{ch}.48	5.29	4.96	4.10	4.43	8^{ch}.93	8.76	8.61	8.85	8.85	8.72
Travail dépensé.	14^{ch}.53	14.41	12.33	11.94	10.86	»	17^{ch}.89	19.05	18.67	»	»
Effet utile de la pompe.	0.337	0.367	0.402	0.344	0.408	»	0.490	0.451	0.474	»	»

Les chiffres de ces tableaux établissent que, dans la première série, le rendement de la pompe ne s'est pas élevé au-dessus de 0.408, tandis qu'il a atteint 0.490 dans celles du 26. Il est probable que cette différence de 8 pour cent est en grande partie occasionnée par la courbure plus favorable donnée aux aubes, mais elle doit être attribuée aussi aux meilleures conditions de la canalisation.

Lorsque, avec une aspiration de 5 à 6 mètres, ces pompes laissent entrer un peu d'air par les joints du tuyau, cet air se cantonne autour de l'axe et le rendement diminue progressivement jusqu'à ce que tout écoulement cesse. Pour rétablir le fonctionnement il faut alors arrêter complétement la machine et la remplir d'eau jusqu'au-dessus de l'axe, avant de remettre en marche.

Cet inconvénient s'est particulièrement présenté le 9 mars; il a été moins sensible le 26, et l'on a pu même fonctionner pendant près d'une heure sans être obligé d'arrêter le mouvement. Il résulte de là que l'on ne saurait prendre trop de soins dans la construction des tuyaux d'aspiration et de leurs coudes, ainsi que dans l'exécution de la soupape de pied, qu'il faudra maintenir complétement noyée et couverte d'une certaine profondeur d'eau, si l'on veut empêcher toute introduction d'air, qui finirait par arrêter entièrement le débit.

Pompes à force centrifuge de M. Coignard et Cie. — Les expériences sur les pompes Coignard sont celles qui ont été faites le plus facilement; les manœuvres étaient parfaitement commandées, et une seule journée a suffi pour expérimenter les deux machines. Nous devons ajouter qu'au point de vue de la construction de tous les organes, rien n'avait été négligé. Les tuyaux d'aspiration étaient surtout bien construits et tous les joints tenaient parfaitement. Il arrive rarement que dans des expériences de cette nature tous les préparatifs soient faits avec autant de soin.

Quant à la détermination de l'effet utile, nous avons procédé, pour ces pompes, comme pour les précédentes et les résultats de nos observations sont également consignés dans un tableau semblable à ceux que nous avons transcrits dans ce procès-verbal.

Tableau des expériences faites sur les pompes centrifuges de M. Coignard et Cie.

DÉSIGNATION.	Pompe grand modèle. NUMÉROS DES EXPÉRIENCES DU 12 MARS 1864.				Petit modèle.	
	1	2	3	4	1	2
Pression dans la chaudière..	6^{at}.25	6.25	6.25	6.12	6.00	4.70
Ordonnée moyenne des diagrammes.	38^{m}.09	35.15	35.45	34.00	18.02	20.40
Nombre de tours de la machine par 1'.	135	134	133	126	140	134
Nombre de tours de la pompe par 1'.	539	542	525	504	862	854
Rapport du nombre de tours.	3.99	4.00	3.94	4.00	6.16	6.37
Hauteur de l'eau dans le bassin de jaugeage.	0^{m}.458	0.427	0.400	0.399	0.423	0.477
Ouverture de la vanne.	0^{m}.18	0.18	0.18	0.18	0.06	0.06
Débit de la pompe par 1''.	129^{l}.21	124.17	118.96	118.76	44.64	45.61
Debit de la pompe par tour.	13^{l}.49	13.74	13.59	14.14	3.11	3.20
Debit de la pompe par heure.	465^{mc}.15	447.01	428.26	427.62	160.70	164.21
Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	6^{m}.34	5.81	5.89	4.98	6.50	6.00
Hauteur d'aspiration.	5 .49	4.96	5.04	4.13	5.25	4.75
Travail en eau montee.	10^{ch}.92	9.61	9.34	7.89	3.87	3.10
Travail depensé.	20^{ch}.79	19.79	19.08	17.32	10.20	11.60
Effet utile de la pompe.	0.525	0.486	0.490	0.456	0.379	0.320

Le fonctionnement de la pompe a toujours été très-satisfaisant, mais l'effet utile pour la grande pompe (nº 7) n'a jamais dépassé 0.526; il a varié entre ce chiffre et 0.456, soit en moyenne 0.489.

Nous avons voulu voir en commençant si, comme l'espérait le constructeur, la pompe s'amorcerait seule, mais il a fallu y renoncer.

Une expérience spéciale a été consacrée à reconnaître l'effet d'une rentrée d'air par la crépine, qui, à cet effet, a été soulevée momentanément hors de l'eau; le débit de la pompe s'est immédiatement arrêté, mais, grâce à l'action de l'extracteur d'air, le débit a recommencé au bout de 75 secondes, et a progressi-

vement augmenté pendant les trois minutes qui ont paru nécessaires pour ramener les choses à leur état normal. C'est là une démonstration complète et tout à fait satisfaisante du bon effet produit par cette pompe accessoire que, sous le nom d'extracteur d'air, M. Coignard a ajoutée à son appareil principal.

La petite pompe, n° 5, à donné lieu à des observations analogues, mais le volant était certainement dans de mauvaises conditions pour une aussi grande hauteur d'aspiration. Il a fallu faire tourner son arbre à raison de 850 tours par minute, et c'est sans doute à cette circonstance qu'il faut attribuer le faible rendement 0.350 de cet appareil.

Quoi qu'il en soit, M. Coignard en donnant à ses aubes une forme telle que l'eau s'éloigne du centre proportionnellement à la vitesse angulaire de la turbine, paraît avoir appliqué une idée géométrique très-rationnelle à l'amélioration des pompes à force centrifuge. On comprend moins bien le fonctionnement de cet anneau en forme de tore qui entoure la chambre principale de son appareil, et dans laquelle l'eau ne peut entrer qu'en nappe mince, éprouvant certainement des résistances considérables. Depuis que nos expériences ont été faites, M. Coignard a modifié cette disposition.

Résumé et conclusions. — Nous avons dit déjà combien les expériences de cette nature sont laborieuses et difficiles, et nous devons ajouter qu'il n'y faut chercher autre chose que des comparaisons d'ensemble qui nous permettront, cependant, d'en déduire quelques appréciations.

Le problème qui consistait à construire des pompes portatives pouvant fournir avec une aspiration de 6 mètres, un débit de 4 à 500 mètres cubes d'eau par heure, a été posé dans des conditions exagérées.

Cependant la pompe de M. Coignard a satisfait à ces conditions, et malgré la nécessité d'une trop grande vitesse, qui était la conséquence de son petit diamètre, elle a donné un effet utile de près de 50 pour cent. Nous considérons ce résultat pour très-satisfaisant, avec d'autant plus de raison que l'excellente disposition de toutes les parties de la machine s'est traduite par une stabilité suffisante et un fonctionnement régulier.

La pompe à piston de M. Hubert a moins de stabilité, elle donne lieu à des chocs très-sensibles, qui doivent engager à ne pas la faire fonctionner à une vitesse de plus de 35 tours par minute; dans ces conditions, elle peut nous fournir 300 mètres cubes d'eau par heure, en donnant un effet utile de 55 pour cent, plus favorable par conséquent que celui de l'appareil de M. Coignard. Ce chiffre a été très-notablement dépassé dans certaines expériences.

Quant aux pompes à force centrifuge de M. Malo Belleville et C[ie], leur rendement a varié, en moyenne, de 0.400, pour les aubes planes, à 0.472 pour les aubes courbes; mais leur fonctionnement est incertain, et leur infériorité sous ce rapport tient pour beaucoup à ce que l'exécution laisse beaucoup à désirer.

Comme pompes d'épuisement, elles présentent d'ailleurs l'inconvénient, fort grave suivant nous, d'arrêts fréquents dans le débit, toutes les fois que la moindre fuite ou la moindre prise d'air, à l'aspiration, détermine une petite accumulation de ce fluide autour de l'axe de la turbine.

Nous devons, d'ailleurs, faire sur les trois appareils la même critique, au point de vue de la courroie de transmission. Il n'est pas facile, dans des conditions aussi instables, de transmettre, par des courroies, une puissance de 15 à 16 chevaux, alors surtout que l'on opère en plein air, et que le cuir risque à tout instant d'être mouillé. Nous avons quelquefois perdu en tâtonnements une journée entière, surtout avec la machine à points morts de M. Hubert, que nous regardons cependant comme la meilleure, avant de pouvoir éviter que la courroie ne tombe pendant le fonctionnement. Cette transmission est la partie la plus défectueuse de l'installation, et cette remarque nous conduit à penser que, dans des établissements de cette nature, il serait préférable de ne point séparer la machine de la pompe. La chaudière formerait toujours un équipage séparé, que l'on pourrait transporter comme la locomobile elle-même, et l'on arriverait, sans doute d'une manière simple, à rendre tout aussi portatif le train qui porterait la pompe et la machine motrice installées sur un même bâti.

Pour une hauteur d'aspiration notablement moindre que celle à laquelle nous avons opéré, nous pensons que les pompes à

force centrifuge pourraient être employées avec plus d'avantage. Leur effet utile augmenterait certainement s'il était possible de les faire tourner moins vite, et nous savons, par des expériences antérieures, que l'emploi des pompes à piston est au contraire moins favorable pour de moindres hauteurs.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers,

Paris, le 15 janvier 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

SUR LES

Appareils d'alimentation pour chaudières à vapeur

DE M. POTEZ ET THIBAUT.

MM. Martin et Potez ont pris, en 1861, le 5 janvier, un brevet d'invention pour un flotteur et un compteur d'eau réglant l'alimentation des appareils à vapeur. Cet appareil a été l'objet de deux autres brevets ou certificats d'addition en 1862 et en 1864, et M. Thibaut a ajouté récemment une disposition particulière de purgeur automatique de la pompe d'alimentation, qui, combiné avec l'appareil primitif, constitue un ensemble d'organes destinés à assurer, à niveau constant, l'alimentation automatique d'une chaudière à vapeur.

Sans avoir en aucune façon à nous occuper de la part qui peut revenir à chacun des intéressés dans le résultat final, nous nous bornerons, dans ce rapport, à décrire l'appareil complet, dans l'état sous lequel il nous a été présenté, et à constater les circonstances matérielles de son adaptation à l'une des chaudières de la salle des expériences, au Conservatoire.

Le système, tel qu'il a été installé, se compose de deux parties bien distinctes : l'appareil dit aide-chauffeur et le purgeur automatique de la pompe.

L'appareil dit aide-chauffeur est tout simplement un tube que l'on met latéralement en communication avec le tuyau d'amenée de la pompe alimentaire, en amont du clapet d'aspiration. Le tube de l'aide-chauffeur, qui se relève verticalement, est terminé par une garniture en cuivre sur laquelle peut reposer une sorte de sou-

pape avec siége en caoutchouc. Quand cette circonstance a lieu, l'orifice du tube étant bouché, les choses se passent comme si ce tube n'existait pas; quand au contraire la soupape est maintenue soulevée au-dessus de son siége, l'air peut affluer par l'orifice non découvert, et la pompe ne peut plus aspirer que de l'air.

Pour produire ces alternances de fermeture et d'ouverture, suivant les besoins de l'alimentation, il suffit de relier, par une tringle verticale et un mouvement de sonnette, la soupape à un bon flotteur, et l'on sera parfaitement assuré, de cette façon, que la pompe se désamorcera toutes les fois que le niveau de l'eau de la chaudière se sera élevé au-dessus du niveau normal, fixé à l'avance.

Si la pompe pouvait s'amorcer d'elle-même lorsque le niveau se sera abaissé au-dessous d'une certaine limite, le problème serait parfaitement résolu, mais cet amorçage automatique de la pompe ne paraît pas avoir été obtenu par les premières dispositions et c'est sous ce rapport surtout que l'emploi du purgeur est intéressant.

Ce purgeur consiste en un robinet à petite section, qui est muni d'un clapet à ressort, et qui laisse échapper, à chaque pulsation de la pompe, une partie de l'air ou de l'eau qui s'y est introduite par le clapet d'aspiration. Le fonctionnement de cet organe accessoire a pour objet d'empêcher qu'une pression accidentelle se maintienne dans le corps de la pompe après la fermeture du clapet de refoulement, et cette condition est surtout importante lorsque l'on veut alimenter avec de l'eau très-chaude.

Dans le cas particulier qui nous occupe, celui où il est nécessaire d'assurer la reprise automatique de la pompe, cette absence de pression est tout à fait nécessaire, et en fait la présence de ce robinet purgeur a déterminé, sans exception, l'amorçage de la pompe quand, par suite de la fermeture de l'orifice de l'aide-chauffeur, il devenait utile d'alimenter à nouveau.

Nous avons soumis le double appareil à de rudes épreuves, puisqu'après nous être assurés de son fonctionnement pour l'alimentation avec de l'eau froide, nous avons entretenu la bâche de la pompe à 98 et à 100°, sans que jamais la reprise ait été incertaine.

La marche de l'appareil est surveillée très-attentivement depuis deux mois et l'exactitude avec laquelle il a constamment maintenu le niveau de l'eau dans la chaudière, à moins de deux centimètres de variation, nous permet de porter le meilleur témoignage sur son efficacité. Son emploi est certainement de nature à assurer un bon service, tout en diminuant dans une grande proportion la fatigue du chauffeur, et à la seule condition d'entretenir le flotteur en très-bon état de fonctionnement.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Paris, le 25 novembre 1864.

Vu : Général MORIN. H. TRESCA.

LÉGENDE.

Les figures ci-jointes représentent les deux appareils mentionnés dans le rapport qui précède.

La figure 1 est celle de l'aide-chauffeur ; la figure 2 celle du purgeur de la pompe.

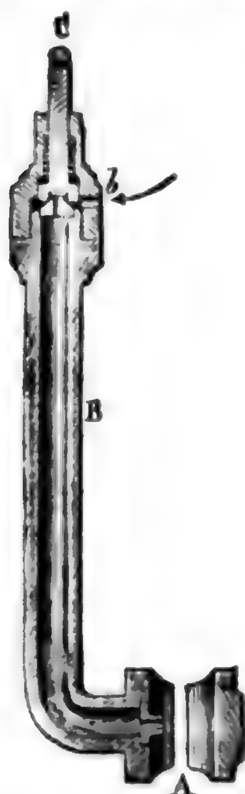


Fig. 1.

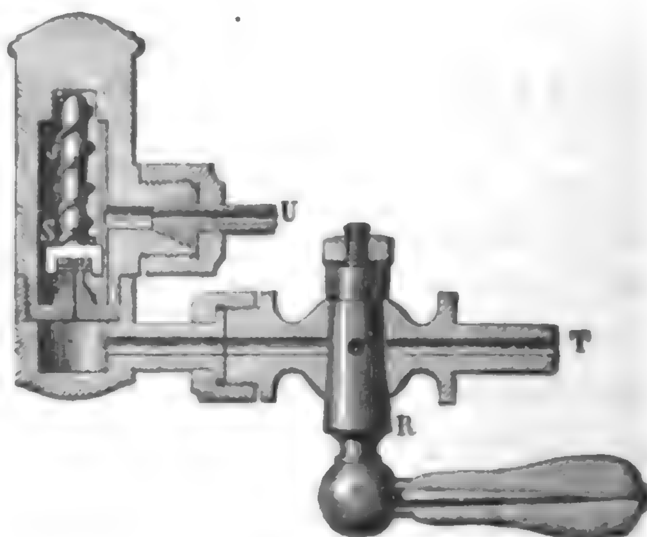


Fig. 2.

A, figure 1, est la bride à l'aide de laquelle on fixe latérale-

ment l'appareil dit aide-chauffeur sur le tuyau d'aspiration de la pompe, après y avoir percé un petit trou de communication, correspondant au bouchon que l'on voit sur le dessus.

B est le corps de l'appareil, terminé à sa partie supérieure par une tubulure vissée dans laquelle peut se mouvoir une pièce mobile *c* suspendue à une tige que l'on met en communication avec le flotteur de la chaudière. Tant que cette pièce est ainsi suspendue, la pompe ne peut aspirer que de l'air qui afflue par l'orifice *b*. Lorsqu'au contraire la pièce *c* est descendue par suite de l'abaissement du niveau de l'eau dans la chaudière, elle se trouve maintenue contre l'orifice supérieur du corps B, et la fermeture de cet orifice est assurée par l'interposition d'un petit siége en caoutchouc appartenant à la pièce mobile. L'orifice *b* ne joue plus dès lors aucun rôle, et les choses se passent comme si l'appareil n'existait pas.

Le purgeur représenté par la figure 2 est mis en communication avec l'intérieur du corps de pompe par le tuyau T, muni d'un robinet R. Au moment du refoulement de la pompe, la soupape accessoire S est un peu relevée de son siége, et laisse échapper, suivant ce que la pompe a aspiré, une petite quantité d'eau ou d'air, ou même de vapeur d'eau si la température est élevée, et le corps de pompe ayant ainsi été complétement vidé, se remplira plus facilement lors de la période suivante d'aspiration.

La soupape S est d'ailleurs ramenée sur son siége, aussitôt que sa fonction est terminée au moyen du ressort *s* qui entoure sa tige.

Le fonctionnement de cet appareil accessoire offre d'ailleurs l'avantage de faire voir toujours, par l'échappement d'un petit filet d'eau ou d'un petit filet d'air par le tuyau de sortie U, si l'alimentation marche d'une manière normale ou s'il est interrompu par le jeu de l'appareil ou par toute autre cause.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR UNE MACHINE A VAPEUR DE QUATRE CHEVAUX,

CONSTRUITE PAR **M. Leclercq,** MÉCANICIEN A GRENELLE.

La machine de M. Leclercq, sur laquelle des expériences ont été faites simultanément, au frein et à l'indicateur, était établie dans les ateliers de MM. Barrère et Caussade, rue de Rennes à Paris.

Elles ont eu lieu le 25 juillet et le 8 août 1864, et encore bien que les résultats de ces deux journées soient relatés dans le présent procès-verbal, il faut considérer ceux du 8 comme établis avec plus de précision. Les chiffres de la première série laissent quelque chose à désirer sous le rapport de la régularité de la marche du frein. Pendant ce premier fonctionnement la machine faisait en outre mouvoir une pompe dépensant une certaine quantité de travail dont il a paru nécessaire de tenir compte.

La machine est horizontale, à enveloppes sur le cylindre et sur les fonds ; la vapeur est abandonnée dans l'atmosphère, mais, avant de s'échapper au dehors, elle circule dans un serpentin dont le développement est de 25 mètres et qui est placé dans la bâche alimentaire dont l'eau se trouve ainsi échauffée jusqu'à 90° environ.

La course du piston est $L = 0^{m},40$; le diamètre du cylindre $D = 0^{m},22$, de sorte que la surface du piston est représentée par

$$\frac{\pi D^2}{4} = 3.1416 \times 0.0121 = 0^{mq}.038013$$

ou 380.13 centimètres quarrés et que chaque course correspond à un volume développé qui se mesure par

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0.03813 \times 0.40 = 0^{mc}.015.$$

Les dispositions du tiroir et du régulateur sur cet organe essentiel exigent seules une description spéciale. Le tiroir est du genre de ceux dits à entraînement; bien qu'il soit réduit le plus possible dans ses dimensions, dans le but de diminuer la pression qui s'exerce sur lui, les lumières principales d'admission ont chacune 14 millim. sur 76 mill.; la largeur de la lumière d'échappement est double de la précédente. La plaque de détente a trois orifices plus petits d'une largeur de 7 millim. seulement, et elle fonctionne sur le dos de la coquille du tiroir sans autre complication d'organes accessoires, le contact étant suffisamment établi par l'action de la vapeur elle-même. Cette plaque maintenue latéralement dans une rainure, est terminée d'ailleurs par deux mentonnets qui en limitent la course de chaque côté, aussitôt qu'ils sont arrêtés par la came à double virgule disposée comme dans toutes les distributions du même genre.

Cette came est mise en relation avec le régulateur à boules, à bras croisés, par l'intermédiaire d'une série d'organes rigides, assez bien exécutés pour conserver au régulateur une suffisante sensibilité. Chaque variation dans la position des boules détermine le déplacement d'un levier mobile autour de la tige de la came, et à l'autre extrémité duquel se trouve le pignon qui engrène avec une roue solidaire avec la came de détente, dont le mouvement se trouve ainsi déterminé par une sorte de mouvement différentiel. On voit par ces détails que la machine fonctionne à grande détente variable par l'action du régulateur, et comme corollaire indispensable de cette combinaison favorable les cylindres et les couvercles sont nécessairement munis d'enveloppes de vapeur.

La machine est d'ailleurs d'une très-bonne exécution et elle a bien fonctionné.

Pendant toute la durée des expériences les boules du régulateur ont été maintenues au maximum d'écartement de sorte que l'admission a toujours été réglée par le cran de distribution seulement.

Dans chaque cas on a pesé le charbon brûlé, et les observations du nombre des tours, ainsi que les tracés à l'indicateur ont été faits autant que possible toutes les 15 minutes.

Tableau des expériences faites le 25 juillet 1864, l'admission étant réglée au dixième.

HEURES des observations.	PRESSIONS indiquées par le manomètre.	ORDONNÉES initiales des diagrammes.	PRESSIONS calculées correspondantes.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	PRESSION effective en atmosphères.	NOMBRE de tours au compteur.	CHARBON pesé.
2.30	Étalon.	»	»	»	»	»	»
2.50	6.10	46.0	6.10	16.90	1.88	»	»
3.0	6.00	45.5	6.06	16.20	1.80	»	»
3.15	6.00	42.0	5.67	15.58	1.73	»	»
3.30	6.00	44.5	5.94	16.15	1.79	»	»
3.45	6.10	45.0	6.00	15.57	1.73	»	»
4.7	6.50	47.5	6.28	16.28	1.81	»	»
4.20	6.00	44.5	5.94	14.70	1.63	»	»
4.35	6.25	48.0	6.33	14.50	1.61	»	»
4.45	6.50	46.5	6.17	16.39	1.81	»	»
5.00	6.00	45.5	6.06	15.00	1.78	»	»
6865					1.76	2.30	17.0

La consommation totale qui s'est élevée à 17k,00 doit être répartie entre les 2h,30′ de travail ce qui fait une consommation par heure de 17.00 : 2.60 = 6k.80.

La pression moyenne sur le piston a été de 1at.76 et elle correspond à un effort moyen de

$$\frac{1.76 \times 380.13}{1.033} = 647.66$$

C'est exactement le chiffre que nous retrouverons dans la deuxième expérience.

La machine a fait au total 6865 tours, soit par seconde 6865 : 9000″ = 0t.763, qui représente un chemin parcouru dans le même temps par le piston de

$$0.763 \times 2 \times 0.40 = 0^{m}.610$$

Le travail indiqué par seconde est donc exprimé par le produit

$$647.66 \times 0.610 = 395.07$$

qui correspond à

$$395.07 : 75 = 5.28 \text{ chevaux indiqués.}$$

Le frein n'était pas équilibré, mais on a tenu compte de sa surcharge qui était de $38^k.90$ à une distance de $1^m.49$.

Le travail par tour qu'il mesurait était donc

$$2 \times 3.1416 \times 1.49 \times 38.90 = 364.18$$

ce qui correspond à un travail par seconde

$$364.18 \times 0.763 = 277.87$$

ou en chevaux vapeur à

$$277.87 : 75 = 3.71 \text{ chevaux.}$$

Ces indications donnent en définitive les résultats suivants :

Consommation par heure et par cheval effectif,

$$6.80 : 3.71 = 1.84.$$

Rapport entre le travail effectif et le travail indiqué :

$$277.87 : 395.07 = 0.703.$$

Le calcul précédent ne tient pas compte du travail supplémentaire de la pompe de puits que la machine faisait fonctionner et dont nous pouvons évaluer approximativement la dépense à 15 kilogrammètres.

Avec cette correction les rapports précédents deviendraient respectivement :

$$6.80 : 3.90 = 1.74 \text{ kil. de combustible.}$$

$$(277.87 + 15) : 395.07 = 0.740.$$

Tableau des expériences faites le 8 août 1864, l'admission étant réglée à deux dixièmes.

HEURES des observations.	PRESSIONS indiquées par le manomètre.	ORDONNÉES initiales des diagrammes.	PRESSIONS calculées correspondantes.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	PRESSION effective en atmosphères.	NOMBRE de tours au compteur.	CHARBON pesé.
	Étalon.	»	»	»	»	»	»
12.45	5.25	»	»	»	»	0	25 00
12.54	5.15	36.0	5.00	14.93	1.66	»	»
1.00	4.75	»	»	»	»	800	»
1.15	5.00	36.5	5.06	15.22	1.69	»	»
1.30	4.80	»	»	»	»	2300	»
1.45	5.25	38.5	5.28	16.54	1.84	3000	»
2.00	5.00	36.0	5.00	15.15	1.68	3800	»
2.36	4 90	37.8	5.20	16.12	1.79	5400	»
3.10	5.10	38.0	5.22	16.70	1.86	7100	»
3.30	5.00	38.5	5.28	16.84	1.87	8100	»
3.47	5.00	»	»	»	»	»	16.00
4.3	5.75	41.5	5.61	15.45	1.71	9900	»
4.31	5.75	»	»	»	»	11600	»
4.45	»	»	»	»	»	12360	—13.40
4.00	»	»	»	»	1.76	12360	27.60

La consommation totale qui s'est élevée à $27^k.60$ doit être répartie entre 4 heures de travail effectif, ce qui fait une consommation par heure de $6^k.90$.

La pression moyenne sur le piston a été de $1^{at}.76$ et elle correspond à un effort moyen de

$$\frac{1^{at}.76 \times 380.13}{1.033} = 647^k.66.$$

La machine a fait pendant toute la durée de l'expérience 12360 tours soit par seconde

$$12360 : 14400 = 0^t.858$$

ou

$$0.858 \times 2 \times 0.40 = 0^m.685.$$

Le travail indiqué par seconde est donc exprimé par le produit

$$647.66 \times 0.685 = 444^{km}.25$$

qui correspondent à

$$444.25 : 75 = 5.92 \text{ chevaux indiqués.}$$

Quant au travail effectif il résulte des conditions d'établissement du frein, qui sont les suivantes :

La distance du point d'application de la charge était L = 1.49 ; sa charge P = 41^k.30 et par conséquent le travail par tour

$$2\pi L \times P = 2 \times 3.1416 \times 1.49 \times 41.30 = 386.65$$

ce qui correspond à un travail effectif de :
386.65 × 0.858 = 331.75 kil. par tour, ou en chevaux-vapeur à

$$331.75 : 75 = 4.42 \text{ chevaux.}$$

L'ensemble de ces chiffres fait voir que la consommation par heure et par cheval effectif est

$$6.90 : 4.42 = 1^k.57 \text{ de houille}$$

et que le rapport entre le travail effectif et le travail indiqué par l'indicateur est donné par le quotient

$$331.75 : 444.25 = 0.747.$$

Nous reproduisons un des diagrammes obtenus dans les expériences où l'admission était réglée aux deux dixièmes de la course; ces diagrammes sont très-réguliers ; ils montrent que l'admission a lieu conformément à la graduation des organes distributeurs et que la détente de la vapeur se fait d'une manière très-satisfaisante. En résumé cette machine de quatre chevaux a fourni un travail effectif de 4.42 chevaux; elle utilise 0.75 du travail développé par la vapeur sur le piston, et elle ne consomme que 1^k.57 de houille par force de cheval et par heure.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Paris, le 15 octobre 1864.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR LA MACHINE ÉLECTRO-MOTRICE

DE M. LE COMTE **de Molin.**

La machine électro-motrice de M. le comte de Molin rappelle, par la disposition générale de sa transmission, certaines machines à vapeur que l'on a désignées sous le nom de *disc-engines*, et qui d'abord proposées en Belgique, ont été pendant assez longtemps en usage en Angleterre.

Les armatures de 16 bobines, qui constituent l'appareil moteur, sont disposées de manière que leurs faces supérieures soient placées sur la surface d'un cône de révolution, dont l'axe est vertical et dont les génératrices forment avec cet axe un angle très-ouvert, différant seulement de quelques degrés d'un angle droit.

L'organe mobile ou récepteur est formé d'un disque plan, garni, aux points convenables, d'armatures en fer doux qui correspondent, chacune à chacune, avec les armatures des électro-aimants. Ce disque peut s'incliner de manière à être successivement en contact avec l'une des génératrices du cône dont il vient d'être parlé.

Lorsque les électro-aimants seront successivement mis en communication avec la pile, le disque s'inclinera du côté où l'action attractive se produira, et, au moyen d'un distributeur convenable, on voit qu'il prendra ainsi les diverses inclinaisons par rapport au plan de contact primitif, et qu'au moyen de très-petits déplacements et par conséquent d'actions à petite distance, le disque sera bientôt revenu à son point de départ, pour repasser ensuite par les mêmes phases pendant chacune des séries complètes de la mise en jeu successive de toutes les bobines.

M. le comte de Molin a ainsi réalisé la condition de produire, sur le disque, des déplacements dirigés directement dans le sens de l'action la plus énergique, c'est-à-dire dans le sens même de l'axe des bobines.

Le mouvement de balancement du disque est d'ailleurs utilisé d'une manière très-simple; ce disque porte à son centre une tige perpendiculaire à son plan, et l'on comprend que la position de cette tige varie régulièrement lorsque la ligne de contact se déplace. Son extrémité décrit ainsi un cercle autour de l'axe vertical de l'appareil, et ce mouvement circulaire est utilisé pour faire tourner la manivelle motrice et l'arbre vertical que cette manivelle conduit.

Cet arbre repose, à sa partie inférieure, dans une crapaudine; il est guidé, au-dessous de la manivelle, par des galets; il porte un volant et une poulie motrice; c'est lui aussi qui est chargé d'établir et de supprimer les contacts au moyen de deux fils, formant ressorts, qu'il promène sur les touches du commutateur.

Les 16 électro-aimants sont placés, deux par deux, sur des rayons également inclinés les uns par rapport aux autres, et l'on obtient ainsi, par une simple inclinaison du disque, de l'un des rayons au suivant, huit impulsions à chaque tour de l'arbre principal.

M. le comte de Molin ayant désiré que des expériences officielles fussent faites sur cet appareil, il a été amené par lui au Conservatoire des Arts et métiers.

Deux expériences ont été faites. Dans les deux cas, les courants électriques ont été fournis par une pile de 12 éléments de Bunsen, grand modèle, dont on a mesuré avec soin la consommation.

Quant au travail développé, il a été estimé au moyen d'un petit frein de Prony, très-sensible.

La marche de la machine s'est maintenue avec une grande régularité dans les deux expériences, et si les résultats du second essai sont plus favorables que ceux du premier, il faut en attribuer la cause à un contact qui aurait, la première fois, fonctionné à contre-temps, par suite d'une erreur de montage faite par le constructeur. On a calculé dans chaque cas le zinc consommé par cheval et par heure; elle a été réduite dans le second cas de 30 p. 100 environ.

Le tableau suivant résume toutes les données numériques des deux expériences.

Tableau des expériences faites sur la machine électro-motrice de M. de Molin.

	I	II
Heure du commencement de l'expérience........	11.59	11.32
Heure de l'arrêt..........................	4.59	4.32
Durée de l'expérience......................	5.00	5 00
Nombre de tours moyen par minute, N.........	37.85	40.76
Vitesse minimum..........................	30	39
Vitesse maximum..........................	42	44
Longueur du bras de levier du frein L =.......	0m.60	0m.60
Charge du frein P =.......................	0k.3505	0k.4305
Travail par tour T = 2 π L P = ...	0km.3214	1km.6229
Travail par minute T × N...................	40km.0015	66km.074
Travail par seconde.......................	0k.6667	1k.112
Poids des zincs avant l'expérience............	27.193	25.876
Poids des zincs après l'expérience............	26.068	24.642
Poids du zinc consommé, par différence........	1.125	1.234
Poids du zinc consommé par heure et par cheval..	25k.311	17.404

Comme indications complémentaires, nous ajouterons que l'on a employé chaque fois des zincs franchement amalgamés et des acides neufs.

L'acide azotique marquait 36°; l'eau acidulée 15°, lors du montage.

Le degré de l'acide azotique s'est abaissé respectivement à 30°.5 et à 29°; celui de l'eau acidulée s'est élevée à 23°.5 et 24°.

Il résulte des indications qui précèdent :

1° Que le plus grand travail développé par la machine par seconde doit être évalué à 1.112 kilogrammètre; c'est-à-dire, en estimant le travail de l'homme à 8 kilogrammètres, qu'elle peut fournir environ la septième partie de ce travail d'un homme.

2° Que la consommation la plus favorable s'élève à plus de 17 kilogrammes de zinc par force de cheval et par heure.

A ce double point de vue, la nouvelle machine, simple dans sa construction, ne s'éloigne pas beaucoup des autres électro-

moteurs, et elle ne paraît, comme eux, être applicable qu'au cas particulier dans lequel on aurait besoin d'une très-petite quantité de travail et où l'on n'aurait à tenir aucun compte du prix de revient.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers,

Paris, le 20 novembre 1864.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des arts et métiers

SUR UNE MACHINE ROTATIVE DE M. SERKIS BALIAN,

CONSTRUITE PAR M. KLEMM.

Cette machine, montée, comme les cylindres des locomobiles, sur une chaudière tubulaire, portée par un train à quatre roues, a une grande apparence de simplicité, et il était intéressant de reconnaître si cet avantage était compensé par une dépense de combustible notablement plus grande que dans les locomobiles ordinaires.

La machine proprement dite, peu différente de celle qui a déjà figuré à l'Exposition de 1862, ressemble d'ailleurs beaucoup au type générique de la plupart des machines rotatives à palettes excentrées.

La chambre cylindrique, qui remplit l'office du cylindre des machines à vapeur, est ovale; son plus grand diamètre a $0^m,332$; son plus petit $0^m,297$. La hauteur de cette boîte est de $0^m,338$. L'arbre moteur, de $0^m,177$ de diamètre, la traverse de part en part et est tangent à sa surface cylindrique à l'une des extrémités du petit axe.

Cet arbre est percé, perpendiculairement à son axe, d'une mortaise dans laquelle est introduite la cloison destinée à partager toujours la capacité intérieure de la boîte en deux parties distinctes et parfaitement séparées.

Cette cloison, d'une épaisseur uniforme de $0^m,045$, est légèrement arrondie à ses extrémités; sa plus grande longueur est égale au plus petit diamètre de la boîte, et déduction faite de la

partie courbe, cette longueur est réduite, sur les faces extérieures, à $0^m,260$ seulement. D'ailleurs, la partie arrondie forme garniture, de manière à s'appliquer aussi exactement que possible contre la paroi intérieure de la boîte cylindrique.

Cette cloison ou coulisse tourne avec l'arbre, et ce sont les parois mêmes de la boîte qui l'obligent à glisser dans son guide, de manière à se placer suivant un plan, toujours parallèle à l'arbre, et passant successivement par les différentes cordes égales au petit axe que l'on peut mener dans le plan de la base de la boîte cylindrique, d'un point à un autre de la courbe elliptique qui en détermine la forme.

Le contact entre l'arbre lui-même et la surface latérale de la boîte est d'ailleurs assuré d'une manière continue par une garniture, pressée par des ressorts, qui remplacent au point de contact la paroi même du cylindre.

A droite et à gauche du point de contact se trouvent les orifices d'admission et d'émission, au nombre de trois de chaque côté. Ils embrassent ainsi, pour chaque fonction, un angle de 45° environ, de manière que, comme dans la plupart des machines rotatives, les espaces désignés habituellement sous le nom d'espaces nuisibles sont relativement très-grands.

Au moment où la cloison passe par le point de contact entre l'arbre et la boîte, celle-ci est divisée par elle en deux parties symétriques : l'une, celle de droite, en communication libre avec les orifices d'admission ; l'autre, celle de gauche, en communication libre avec les orifices d'échappement.

A partir de ce moment, la cloison tournant de manière que son point de contact avec la paroi se transporte vers la droite, du côté de l'admission, il arrivera un moment où la vapeur entrera librement dans le triangle formé par les parois de la cloison, de la boîte et de l'arbre, et les dimensions de ce triangle allant toujours en augmentant, la valeur pressera de plus en plus sur la paroi libre de la cloison ou valve, et suivant les conditions du fonctionnement des tiroirs, elle pourra agir jusqu'au moment où elle viendra à s'échapper par les orifices opposés.

Un peu avant d'avoir atteint ces orifices, la valve aura pris une position perpendiculaire à sa position primitive, et pour laquelle elle divisera la boîte en trois chambres distinctes : deux de ces chambres sont égales, et ouvertes respectivement à l'admission et

à l'émission ; la troisième beaucoup plus grande forme alors le volume maximum d'admission pour chaque retournement de la cloison, et le volume de vapeur admis par tour peut être égal au double de ce volume maximum.

La machine, apportée au Conservatoire pour être soumise au contrôle de l'expérience, était montée sur une chaudière ordinaire de locomobile.

Cette chaudière était munie d'une pompe alimentaire puisant l'eau à 80° dans un réchauffeur, et d'un injecteur Giffard, à l'aide duquel on lui venait en aide, de temps en temps, en alimentant à l'eau froide.

Après plusieurs essais préparatoires, le constructeur, M. Klemm, nous a dit que sa machine était complétement en état, et nous lui avons fait subir un essai au frein, dont tous les éléments sont inscrits dans le tableau suivant :

La longueur du bras de levier du frein était de $1^{m},50$; le nombre des tours était additionné par un compteur ; la pression était estimée par un manomètre étalon, ajouté à ceux de la machine; le charbon avait été pesé à l'avance ; l'état du feu a été vérifié au commencement et à la fin de l'expérience ; l'eau était versée par quantités métriques dans la bâche alimentaire préalablement vidée.

Afin d'éviter autant que possible les entraînements d'eau, le niveau a été maintenu un peu bas pendant toute la durée de l'expérience.

On voit par les chiffres que la chaudière fonctionnait dans d'assez bonnes conditions, puisque chaque kilogramme de combustible (les escarbilles ont été bien brûlées) a fourni 8 kilogrammes de vapeur.

Quant à l'évaluation du travail fourni, il faut la calculer en tenant compte des deux charges qui ont été successivement portées par le frein, savoir :

De 10,45 à $11^{h}12$, 35 kilogrammes ;
De 11,12 à 4,25, 39 kilogrammes.

Dans le premier cas, le travail par tour est de

$$2\pi L \times 35 = 2\pi \times 1,50 \times 35 = 329^{km},87.$$

Dans le second

$$2\pi L \times 39 = 367^{km},58.$$

Tableau de l'expérience faite le 19 décembre 1864 sur la machine locomobile rotative de M. Serkis-Balian, construite par M. Klemm.

HEURES des observations	PRESSION au MANOMÈTRE.	NOMBRE de tours au compteur.	CHARBON PESÉ.	OBSERVATIONS.	HEURES des observations.	PRESSION au MANOMÈTRE.	NOMBRE de tours au compteur.	CHARBON PESÉ.	OBSERVATIONS.
10.45	4at.10	»	150k	Commencement de l'expérience.	1.25	4at.40	»	»	
11	4 .10	»	»	Le frein est chargé de 35 kil.	1.30	4 .20	»	500k	
11.7	4 .15	»	»	Le frein est chargé de 39 kil.	2.00	4 .25	»	»	
11.12	4 .00	»	»		2.15	4 .15	»	»	
11.15	4 .50	»	»		2.30	4 .25	»	»	
11.30	4 .00	»	»		2.45	4 .35	»	50	
11.45	4 .00	»	»		3.00	4 .00	»	»	
11.55	»	8712	»		3.15	4 .25	»	»	
12.5	4 .25	»	100		3.30	4 .50	»	»	
12.30	4 .30	»	»		3.45	4 .00	»	50	
12.45	4 .25	»	»		3.55	4 .20	33312	»	
12.56	3 .50	15312	»		4.15	3 .95	»	»	
1.15	3 .70	»	50		4.25	4 .00	41212	»	On arrête l'expérience.
				Totaux et moyenne...	5.40	4at.134	41212	500k	

En multipliant chacun de ces nombres par le temps correspondant, faisant la somme, et divisant par le temps total, on trouve que le travail moyen par tour a été de 364,58 kilogrammètres.

Le nombre total des tours étant de 41 212 tours en 340', le nombre des tours par seconde est de

$$\frac{41212}{340 \times 60} = \frac{41212}{20400} = 2,02.$$

Le travail moyen, mesuré par le frein, est donc donné par le produit

$$364,58 \times 2,02 = 736,45 \text{ kilogrammètres.}$$

ou

$$\frac{736,45}{75} = 9,80 \text{ chevaux-vapeur.}$$

La consommation totale s'étant élevée à 500 kil. de houille, la dépense par force de cheval et par heure est de

$$\frac{500}{9,80 \times 5,67} = 9^{k},00.$$

Une machine ordinaire, à mouvement alternatif, n'aurait pas dépensé, dans les mêmes circonstances, plus de 3 kilogrammes de combustible. La machine rotative dépense trois fois plus, et nous devons ajouter cependant que parmi toutes celles que nous avons essayées, celle de M. Serkis Balian est une de celles qui ont donné les meilleurs résultats relatifs.

L'expérience précédente a été faite avec une distribution à un seul tiroir. Après avoir établi un tiroir de détente, le constructeur a désiré que l'expérience soit recommencée, mais les résultats sont restés les mêmes, sans doute parce que les espaces nuisibles sont très-grands, et parce qu'il est bien difficile d'empêcher les fuites, tant au pourtour de la boîte que sur les fonds. La simplicité apparente des machines rotatives est loin de racheter cet inconvénient presque inévitable, et qui se traduit toujours par une grande augmentation dans la dépense d'eau et de combustible.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

Paris, le 30 janvier 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur Général MORIN.

OUVERTURE

DU

COURS DE GÉOMÉTRIE

APPLIQUÉE AUX ARTS

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

Le Dimanche 15 Janvier 1865,

PAR M. LAUSSEDAT, Professeur suppléant.

Messieurs,

Avant d'aborder les questions qui doivent faire cette année l'objet de nos études, permettez-moi d'exprimer ma vive reconnaissance au savant général qui dirige avec tant de sollicitude ce bel établissement, aux éminents professeurs et aux autres membres du conseil de perfectionnement du Conservatoire, pour le témoignage de confiance dont ils m'ont honoré.

J'occupe ici la place d'un homme dont le nom est justement célèbre, et qui, à toutes les dignités dont il est revêtu, préfère peut-être encore le titre, d'ailleurs si respecté, de professeur au Conservatoire des arts et métiers.

Ce titre rappelle en effet à M. le baron Charles Dupin, aujourd'hui sénateur et l'un des doyens de l'Académie des sciences, les brillants succès de sa jeunesse et les services rendus à la classe ouvrière et industrielle, dont il s'est toujours hautement déclaré l'ami et le conseiller.

Illustrée par M. Charles Dupin, cette chaire a été tour à tour occupée par des suppléants remplis de mérite. Elle l'était naguère encore par le digne M. Tom Richard, qu'une mort prématurée a enlevé à des fonctions qu'il affectionnait.

Je n'ai pas eu l'honneur de connaître personnellement M. Tom Richard, mais le hasard ou ma bonne fortune m'ont mis à même, à deux reprises, d'apprécier ses rares qualités comme homme et comme chef d'usine. Je vous demande donc la permission de vous raconter ces deux faits qui, tout simples qu'ils soient, suffiront sans doute pour montrer ce que devait être M. Tom Richard dans la vie privée.

Le premier remonte à plus de vingt ans. Chaque année, les élèves de l'École d'application de Metz vont en mission dans les principales usines de l'Est de la France, pour étudier expérimentalement l'effet des machines dont la théorie leur a été expliquée auparavant. En 1844, un de mes camarades fut ainsi envoyé à Framont, dans les Vosges. Il revint charmé de cette excursion, et ce qui l'avait tant frappé, ce n'était pas l'ordre matériel que l'on rencontre habituellement dans les grands établissements de cette industrieuse contrée, mais la remarquable tenue des ouvriers et l'attachement singulier qu'ils manifestaient pour leur directeur. Ce directeur si aimé de ses subordonnés était M. Tom Richard.

Quelques années plus tard, mon service d'officier du génie m'appelait dans la vallée des Aldudes, sur l'extrême frontière des Pyrénées occidentales. Je rencontrai sur mon chemin, et je visitai avec beaucoup d'intérêt les forges de Banca, qui donnent un peu de vie à ce pays presque sauvage. Je fus surpris, à mon tour, du concert d'éloges qui s'élevait, tant dans l'usine que dans le hameau, autour du nom de l'ingénieur. C'était encore M. Tom Richard.

Les services que le professeur a rendus ici même sont trop récents pour qu'il soit nécessaire de les rappeler. Je n'ai eu d'ailleurs ni l'intention ni le temps d'écrire une biographie; j'ai cru cependant qu'il était naturel d'invoquer mes souvenirs pour honorer la mémoire de l'homme de bien auquel je succédais.

Ce devoir rempli, j'arrive au sujet que je dois développer devant vous dans le trimestre dont nous disposons encore[1].

1. Le programme du cours de géométrie appliquée aux arts, arrêté par le conseil de perfectionnement, comprend les principes de la géométrie élémentaire, de la trigonométrie et de la géométrie des courbes, les quadratures et les cubatures, la topographie, et particulièrement l'étude du terrain au point de vue des

De toutes les applications de la géométrie, il n'en est peut-être pas qui soit d'une utilité aussi générale que cet art auquel on a donné, sans doute pour ce motif, le nom de géométrie pratique, mais qui est aujourd'hui plus généralement et plus exactement désigné sous celui de topographie.

Le mot topographie signifie proprement, description des localités. La topographie a effectivement pour objet la représentation détaillée du terrain, de tous les accidents naturels que l'on rencontre à sa surface, ainsi que des travaux que les hommes y ont élevés.

Quand la description embrasse une grande étendue de territoire, un pays tout entier, on est amené à supprimer peu à peu les détails et à ne conserver finalement que les traits généraux du sol, comme l'emplacement des centres de population, les montagnes, les directions des cours d'eau, les côtes et les principaux linéaments des grands travaux publics.

Vous voyez tout de suite, Messieurs, combien sont étroites les relations qui existent entre la topographie et la géographie, tellement qu'il est bien difficile de tracer une ligne de démarcation entre elles.

Considérée ainsi dans toute sa généralité, la topographie remonte, comme la géographie, aux premiers temps de la civilisation. On en trouve les rudiments dans les plus anciens poëtes, dans les plus anciens historiens, qui furent aussi les premiers géographes, dans la Bible comme dans les auteurs profanes[1].

Des deux moyens principaux de description, le discours ou le dessin, le premier, d'abord le seul en usage, restera toujours le plus expressif, je pourrais dire le plus attrayant, parce qu'il s'adresse à la plus active de nos facultés, l'imagination, et qu'il s'en empare sans recourir à l'intermédiaire de nos sens. Si les relations de voyages ont le privilége de captiver l'attention de la jeunesse comme celle de l'âge mûr, n'est-ce pas au charme des

travaux publics, des notions d'astronomie propres à guider les constructeurs d'instruments de précision, enfin la géométrie des machines ou cinématique. Il ne sera question dans ce discours que de la topographie, qui doit faire le sujet des leçons de l'hiver de 1865.

1. On ne trouve pas seulement, dans les livres auxquels je fais allusion, des descriptions topographiques, des itinéraires; il y est aussi très-souvent question du partage des terres qui suppose des opérations d'arpentage.

descriptions qu'elles le doivent autant qu'à l'intérêt des épisodes dramatiques? J'en trouverais au besoin la preuve dans le succès des géographies modernes de Malte-Brun et de son école, dont la méthode descriptive a une supériorité si évidente sur celle que l'on suivait auparavant et qui réduisait l'une des branches les plus fécondes de nos connaissances à la sécheresse d'une nomenclature.

Enfin chacun de nous ne sait-il pas, par sa propre expérience, que jusque dans les œuvres de pure imagination, les auteurs les plus goûtés sont ceux qui par la vérité, je devrais dire la vraisemblance de leurs tableaux, autant que par la magie de leur langage, savent nous transporter sur le lieu de la scène où se déroule l'action qui fait le sujet de leur récit.

Ne soyez pas surpris, Messieurs, si je m'arrête quelques instants à ce point de vue si éloigné en apparence de l'objet qui doit nous occuper spécialement; mais les historiens et les poëtes ne sont pas les seuls à employer le discours pour décrire la contrée ou le site qu'ils veulent faire connaître à leurs lecteurs. Depuis l'ingénieur qui conçoit un vaste projet jusqu'au modeste arpenteur qui délimite deux propriétés, tous ceux qui ont à étudier le terrain sentent la nécessité de joindre à la meilleure carte, au meilleur dessin, un mémoire explicatif plus ou moins étendu. Et ce n'est pas toujours la tâche la plus facile à remplir que de donner à ces explications toute la clarté désirable; mais l'art de bien observer et le talent d'exposer aux autres, par le seul langage, ce que l'on a vu soi-même, ne s'enseignent guère et ne s'acquièrent que par une assez longue expérience.

Je me hâte d'ailleurs d'abandonner cet ordre de considérations que je n'ai cependant pas cru inutile de vous laisser entrevoir, et j'arrive au second moyen de description, au dessin qui, lui aussi, est une langue, et même, comme on l'a souvent et justement remarqué, la seule langue véritablement universelle.

Le dessin peut être imitatif ou conventionnel. Dans le premier cas, on peut dire qu'il s'explique de lui-même, mais il est généralement insuffisant, et nous verrons pourquoi. Dans le second, il est utile, il est presque toujours indispensable d'avoir la clef des conventions adoptées.

Le dessin imitatif a été naturellement le premier dont on se soit servi. C'est ainsi que nous retrouvons des vues en perspec-

tive, le plus souvent irrégulière, de villes entières ou de monuments considérables sur les médailles, sur les vases et les bas-reliefs antiques, et plus tard sur les manuscrits du moyen-âge, sur les premières planches gravées.

La plupart de ces dessins et des cartes, d'abord fort imparfaites, sur lesquelles on en vint à les rapporter, peuvent être rattachés au système de perspective dite *cavalière*, système qui s'est perpétué jusque dans le siècle dernier.

Le seul progrès sensible que l'on découvre, à partir de la renaissance, consiste dans l'observation de plus en plus exacte des règles de la perspective linéaire, et pour ne citer qu'un exemple, les admirables dessins des siéges de Bréda, de La Rochelle et de l'Ile de Ré exécutés par Callot, dans la première moitié du dix-septième siècle, appartiennent à la topographie pittoresque et peuvent être considérés comme des chefs-d'œuvre du genre. Mais il convient de remarquer tout de suite que ce perfectionnement, conséquence immédiate de celui des arts d'imitation en général, n'était applicable qu'à la description d'une étendue de terrain très-limitée, comme celle d'une ville, d'une forteresse ou d'un port. Réunies aux plans proprement dits que l'on savait lever géométriquement depuis assez longtemps déjà, les vues qui seules ne permettaient de prendre directement aucune mesure exacte, offraient un grand intérêt; mais dès qu'il s'agissait d'un territoire de quelque étendue et à plus forte raison de topographie générale, il devenait impossible de recourir à ce moyen. Aussi la construction des cartes de provinces ou d'États resta-t-elle défectueuse jusqu'à ce que l'on eût compris qu'elle devait être basée à peu près uniquement sur des opérations géométriques dont la difficulté augmentait, à la vérité, avec l'étendue qu'elles devaient embrasser.

Je ne pourrais, Messieurs, sans y consacrer beaucoup plus de temps que celui dont je dispose, vous faire l'histoire de la topographie moderne et des méthodes de plus en plus parfaites qu'elle a mises en usage. J'essayerai donc seulement de vous en indiquer les points principaux.

Les premières tentatives faites pour dresser des cartes détaillées embrassant un pays tout entier, ont été inspirées par le plus noble de tous les sentimens, l'amour de l'indépendance. La Suède, à peine affranchie du joug des Danois, la Pologne déjà

menacée, la Hollande engagée dans la lutte héroïque qui devait la délivrer de la domination étrangère, furent les premières nations qui, dès le commencement du dix-septième siècle, comprirent la nécessité d'étudier, pour ainsi dire, pas à pas, les ressources que la configuration du sol peut procurer à sa défense [1].

Elles furent bientôt imitées par l'Allemagne, la Suisse, l'Angleterre, quelques-uns des États de l'Italie et particulièrement le Piémont et la Savoie qui, grâce au concours de princes éclairés et d'habiles artistes, eurent bientôt les plus belles cartes de l'époque.

En France, quelques provinces qui possédaient un cadastre et des plans terriers firent aussi exécuter des cartes topographiques; mais il faut arriver jusqu'au milieu du dix-huitième siècle, jusqu'aux Cassini, pour trouver un grand travail d'ensemble qui, en revanche, devait à son tour servir de modèle à toutes les entreprises du même genre.

Sous le règne de Louis XIV, on avait bien levé régulièrement des plans de villes, et surtout ceux des places fortes. Vauban et les ingénieurs sous ses ordres, faisaient même apporter les plus grands soins à ces travaux. D'un autre côté, des ingénieurs-géographes étaient dès lors chargés de lever la carte des pays parcourus par nos armées, et il devait sortir plus tard de cette institution des hommes d'une rare habileté, des observateurs distingués, de savants géomètres. Toutefois, il faut bien le dire, les travaux des ingénieurs du temps de Louis XIV ne paraissent pas avoir contribué au progrès de l'art. Il était réservé aux règnes de Louis XV et de Louis XVI de porter la topographie française au premier rang, dans tous les genres.

Louis XV, on doit lui rendre cette justice, avait un goût prononcé pour la géographie de même que pour les observations astronomiques; mais, on le sait, il n'avait pas moins de goût pour le plaisir, et cet ensemble d'inclinations si opposées a donné naissance à une œuvre, ou pour mieux dire à un chef-d'œuvre qui les reflète à la fois. Je veux parler de cette magnifique *carte des chasses*, aujourd'hui encore l'un des plus beaux

1. *Mémorial du dépôt de la guerre*, tome I. Notice du capitaine Soulavie, des ingénieurs-géographes, sur l'état de la topographie en Europe, publiée en 1802.

spécimens de la topographie, qui comprend Versailles et ses environs dans un rayon de 14 lieues.

Je ne dirai ici qu'un mot de la carte de Cassini, dont l'entreprise remonte à 1750. Nous aurons l'occasion d'y revenir dans une des leçons qui doivent suivre, et je me borne à rappeler que cette grande opération a été l'une des premières, la première peut-être, si l'on excepte un essai fait en Hollande, à utiliser, pour la topographie, les observations astronomiques et les grandes triangulations qui avaient été réservées jusqu'alors à l'étude de la figure de la terre.

J'ajoute que l'état déplorable des finances ne permettant pas à Louis XV de faire exécuter ce grand travail aux frais du trésor, ce prince dut se contenter de le prendre sous son patronage. C'est donc à l'illustre famille des Cassini[1] que revient la gloire tout entière de l'avoir entrepris et de l'avoir achevé. Grand et noble exemple trop peu connu peut-être et qui prouve si bien ce que peuvent l'initiative individuelle et la persévérance mises au service d'une idée juste!

Louis XVI avait hérité de la passion de son aïeul pour la géographie, et personne n'ignore les louables efforts qu'il fit pour le perfectionnement des arts qui se rattachent à la marine. Des voyages de découvertes, des travaux d'hydrographie considérables furent entrepris par ses ordres et firent passer à la France la supériorité que l'Espagne avait gardée jusqu'alors dans l'art de reconnaître les côtes.

Il est bien remarquable, par exemple, que les cartes de la Baltique, dressées à la fin du siècle dernier par notre compatriote de Fleurieu, fussent encore au nombre des meilleurs documents que l'on possédât pour naviguer dans cette mer, quand éclata, en 1854, la guerre avec la Russie.

C'est au règne de Louis XVI, aux premières années de la révolution, que remontaient aussi les services de l'illustre Beautemps-Beaupré, qui a dirigé la reconnaissance de nos côtes et formé tant d'habiles ingénieurs-hydrographes qui perpétuent ses excellentes traditions.

1. Cassini de Thury ou Cassini III et Cassini IV; car la science étant héréditaire dans cette famille, on en était venu à désigner ses membres comme des princes, par un numéro d'ordre chronologique.

Pendant que l'hydrographie et la topographie générale accomplissaient les remarquables progrès dont j'ai pu à peine vous donner une idée, la topographie particulière ne restait pas en retard. L'école de Mézières qui a eu l'honneur de compter Monge au nombre de ses professeurs et qui a donné à la France d'éminents ingénieurs militaires, avait été la première à apercevoir les immenses avantages d'une méthode proposée d'abord par le géographe Buache, pour représenter les inégalités du fond de la mer, puis appliquée par Ducarla, de Genève, à l'expression du relief du terrain, et l'avait fait entrer dans son enseignement.

Permettez-moi, Messieurs, de m'arrêter quelques instants sur un sujet dont j'aurai beaucoup à vous entretenir dans le cours de ces leçons et sur lequel je ne saurais trop tôt appeler votre attention.

Les cartes et les plans topographiques construits géométriquement donnent à première vue ou, quand on veut plus de précision, à l'aide d'une échelle, les distances horizontales des divers points du terrain. Mais comment les différences de niveau de ces points y sont-elles indiquées, comment peut-on savoir si l'on est dans un pays de plaines, de collines ou de montagnes, si de deux points considérés l'un est plus ou moins élevé que l'autre et de combien? Toutes ces questions valent, à coup sûr, la peine d'être examinées.

Sur les anciennes cartes où les villages, les hameaux, la végétation même étaient figurés en perspective cavalière, on avait été conduit, en étendant le principe, à une sorte de représentation pittoresque des accidents du sol qui, sur les cartes à petite échelle, ou comme on dit *à petits points*, dégénérait en une série d'accents circonflexes emboîtés les uns dans les autres. Ce symbole qui, selon l'expression de Lacroix, équivaut à ces mots : « *là il y a des montagnes*, » vous le connaissez tous, car on voit encore tous les jours de semblables cartes aux étalages des quais de la Seine.

Évidemment un pareil mode de dessin ne pouvait être que très-imparfait, même sur les cartes à grands points, et jusque sur les plans détaillés; aussi, bien que ses défauts eussent été considérablement atténués par l'emploi systématique de hachures dirigées à peu près dans le sens des plus grandes pentes du

terrain[1], il y avait là une immense lacune, un obstacle des plus graves au progrès de la topographie.

C'est cette lacune que la méthode de Buache, généralisée par Ducarla, a permis de combler de la manière la plus heureuse. Il est juste de dire que l'ingénieuse idée de Buache (1737) apparaît au moins en germe dans les cartes hydrographiques du Hollandais Cruquius (1729).

On avait bien songé déjà à inscrire sur les plans, à côté de chaque point remarquable, un chiffre exprimant la distance de ce point à un plan de repère horizontal supérieur ou inférieur au terrain. Mais ces chiffres ne pouvaient être multipliés sans confusion et ce n'était qu'à grand'peine que l'on parvenait, en les lisant, à acquérir une idée toujours incomplète du relief.

La notation de Buache faisait cesser cette confusion. Imaginez, en effet, les points d'une carte marqués d'une même cote de hauteur réunis par une courbe continue; vous n'aurez plus besoin que d'un chiffre ou tout au plus de quelques chiffres inscrits de loin en loin auprès de cette courbe, pour connaître, non plus des points isolés du terrain, mais toute la série des points situés au même niveau.

Ces courbes pourront être elles-mêmes plus ou moins nombreuses, mais elles ne produiront aucune confusion, parce qu'elles sont distinctes les unes des autres et qu'elles ne s'entrecroisent jamais. Elles présentent d'ailleurs cet inappréciable avantage de faire saisir d'un seul coup d'œil, par leurs formes, les inflexions du terrain, et par leur rapprochement ou leur espacement, les pentes plus ou moins roides, plus ou moins adoucies.

On donne une idée saisissante de cette méthode simple et géométrique à la fois de figurer le relief du sol, en considérant les courbes de niveau comme les projections, sur la carte, des laisses successives d'uue mer qui aurait submergé tout le pays

1. Il ne faudrait pas croire que l'idée de lignes des plus grandes pentes ait été postérieure à celle des courbes de niveau, dont elle nous paraît aujourd'hui une conséquence naturelle. On peut s'assurer du contraire en consultant le livre II des *Éléments de topographie militaire*, de Hayne, ingénieur au service de Prusse, ouvrage in-8°, traduit de l'allemand, Paris, 1806, où l'emploi des hachures suivant les lignes de plus grandes pentes est enseigné sans aucune allusion aux courbes de niveau que l'auteur ne paraît pas avoir connues.

et se serait ensuite retirée peu à peu, en baissant périodiquement de quantités égales.

Depuis que l'école de Mézières a eu le mérite de l'introduire dans le service du génie, la notation des courbes de niveau est passée dans la plupart des autres services publics. Les étrangers l'ont adoptée à leur tour et l'on peut dire que, dès à présent, son emploi est général[1].

Dans les cartes gravées ou manuscrites, sur lesquelles on veut accuser le relief d'une manière plus apparente, sur les cartes à petite échelle qui resteraient sans effet, si l'on n'employait que des courbes, les hachures ou les teintes dont on fait usage pour produire cet effet ont elles-mêmes ces lignes pour directrices. C'est ainsi qu'ont été gravées les belles feuilles de la carte de France dont les courbes avaient été dessinées sur le terrain par des officiers du corps d'état-major. C'est de la même manière que les officiers de l'armée et les élèves de nos écoles spéciales procèdent au dessin des cartes dites *à l'effet*.

J'espère, Messieurs, pouvoir vous donner dans la suite des détails plus complets sur les services que l'emploi des lignes de niveau a déjà rendus et sur ceux qu'il est appelé à rendre, dans l'étude comme dans l'exécution des projets de toute nature ayant pour but définitif une modification quelconque de la surface du sol[2].

Avant de terminer cet historique, j'ajouterai quelques mots sur les instruments.

Les anciens mesuraient les champs, traçaient des routes,

1. Les travaux de drainage ont beaucoup contribué, croyons-nous, à faire ressortir les avantages que présentent les propriétés des courbes de niveau. En Angleterre, les conseils de salubrité de plusieurs grandes villes ont fait rapporter ces courbes sur les plans pour y étudier plus facilement les moyens d'écoulement des eaux, le tracé des égouts, etc. J'en ai vu moi-même un exemple à Portsmouth, dès 1851. M. Delesse, ingénieur en chef des mines, a réalisé de son côté une très-utile application, en employant des courbes diversement teintées pour représenter les surfaces de séparation des différentes couches géologiques du sol sur lequel est bâtie la ville de Paris.

2. Je signalerai ici à mes lecteurs, comme à mes auditeurs, les beaux plans-reliefs de M. L.-J. Bardin, ancien chef des travaux graphiques à l'École polytechnique, et l'ouvrage qu'il publie sous ce titre : *La Topographie enseignée par des plans-reliefs et des dessins, avec texte explicatif.*

construisaient des aqueducs. Les Romains avaient, par exemple, des arpenteurs (agrimensores), dont les fonctions devaient avoir une grande importance chez ce peuple essentiellement agriculteur. Ils avaient d'habiles ingénieurs, on n'en saurait douter, et il fallait aux uns comme aux autres des instruments appropriés à leur art. Mais la vérité est que nous savons fort peu de chose à ce sujet, et je m'abstiendrai d'en parler pour ne pas m'exposer à faire de fausses conjectures.

Les auteurs italiens du seizième siècle qui paraissent avoir été des premiers à écrire sur la géométrie pratique, parlent d'instruments analogues à ceux dont on s'est servi depuis. Il est même assez remarquable de trouver la boussole employée dès 1538, au lever des plans[1].

La construction des instruments de topographie s'est naturellement ressentie des progrès des arts mécaniques, et a suivi les mêmes phases que celle des instruments de l'astronomie pratique. Les organes des uns et des autres sont en effet identiques pour la plupart, quant à leurs principes : cercles divisés, verniers, lunettes, niveaux ; l'usage même de ces deux sortes d'appareils ne diffère en réalité que par le degré de précision que l'on veut atteindre, et c'est sur ce degré de précision que se règle le constructeur.

Cette dernière remarque me conduit à prévenir quelques objections et à y répondre. Ne me laisserais-je pas entraîner par mes préoccupations habituelles, les méthodes que je songe à introduire dans ce cours ne sont-elles pas un peu spéciales, en dehors des habitudes ordinaires et des besoins les plus fréquents, ne conviennent-elles pas surtout aux services militaires, ou tout au plus à quelques-uns des services publics ?

Je n'hésite pas à repousser toutes ces appréhensions et j'affirme au contraire qu'il y va de l'intérêt général de tendre par les

1. *Quesiti e inventioni diverse de Nicolo Tartaglia, di nuovo restampati*, libro quinto. Depuis que ce discours est écrit, le Conservatoire des Arts et métiers a fait l'acquisition d'un instrument servant, tant à la mesure des angles verticaux qu'à celle des angles horizontaux, et qui portait une petite aiguille aimantée évidemment destinée à donner l'orientation des directions indiquées par l'une des alidades. L'instrument est daté de 1559, et signé de Aegidius quiniet, Antverpianus (d'Anvers). La déclinaison, qui était orientale à cette époque, est marquée sur le limbe que parcourait l'aiguille.

mêmes moyens vers ce but commun, la description de plus en plus exacte de toutes les parties du territoire de la France.

Ici encore je m'attends à être arrêté.

Mais n'avons-nous pas le cadastre et la carte de l'état-major? Qu'avons-nous besoin d'autre chose, si ce n'est d'études inévitables pour l'établissement d'un projet ou pour l'examen d'une question spéciale qui exige un plan détaillé, des cotes nombreuses de nivellement.

Je vais essayer de bien expliquer ma pensée sur chacun des sujets délicats que je viens de soulever,

Et d'abord je suis si éloigné de méconnaître l'importance capitale des documents existants, que vous m'entendrez dire et répéter qu'on en devrait faire un plus fréquent usage.

Mon dessein est même de vous indiquer avec soin toutes les ressources qu'ils offrent aux opérateurs.

Ainsi, la carte de France a pour fondement la magnifique triangulation commencée par Delambre et Méchain, achevée avec une rare perfection par les ingénieurs-géographes du dépôt de la guerre. C'est aux sommets de cette triangulation que je recommanderai de rattacher toutes les opérations de quelque importance, qu'elles relèvent d'un intérêt public ou d'un intérêt privé.

Je rapprocherai immédiatement de ces précieuses données celles qui résultent du nivellement du réseau des lignes de chemins de fer et des grands cours d'eau, ordonné par M. le ministre des travaux publics et exécuté avec une admirable précision par M. Bourdaloué[1]. Rien de plus facile, avec les indications fournies par l'ouvrage de M. Bourdaloué[2], que de retrouver, dans chacune des localités parcourues par ses collaborateurs, les repères en fonte de fer portant d'une manière apparente leur cote d'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer.

C'est aussi à ces repères que je conseillerai de recourir toutes

1. Cette précision est telle, d'après M. Bourdaloué, que par kilomètre il n'existe pas un écart dépassant 1 millimètre, et que d'une extrémité de la France à l'autre, l'écart atteint à peine 3 centimètres. M. l'ingénieur en chef Breton (de Champ), chargé du service du contrôle de cette belle opération, déclare de son côté que cette appréciation n'a rien d'exagéré.

2. *Nivellement général de la France* (lignes de base et notes diverses), par Paul-Adrien Bourdaloué, 2 vol. in-8°. Bourges, 1864.

les fois qu'on le pourra, et de rapporter les nivellements, quel qu'en soit l'objet.

Il serait vivement à désirer que l'on s'astreignît, dans les services publics, dans les grandes administrations et jusque dans les exploitations particulières, à recueillir, à coordonner tous les résultats d'opérations faites avec soin, pour les faire concourir à ce but que j'ai déjà signalé, une description de plus en plus détaillée du territoire. Combien de fois le même terrain n'a-t-il pas été exploré, mesuré par les ingénieurs et par les géomètres, parce qu'on n'avait pas gardé la trace des résultats des premières opérations, ou parce que ceux-ci avaient été enfouis dans des cartons [1].

Mais revenons à la carte de France et aux plans du cadastre. La carte de France est composée de 258 [2] feuilles gravées à l'effet, à l'échelle du 800 00e, avec des cotes d'altitude répandues de distance en distance. Elle répond parfaitement à l'objet que l'on s'était proposé, et il n'y a pas lieu de s'en étonner quand on songe au travail qu'elle a exigé de la part de deux générations de savants officiers [3]. Au point de vue militaire, cette carte ne laisse rien à désirer, mais il ne serait pas raisonnable de lui demander ce que son échelle restreinte ne lui permet pas de donner; aussi n'a-t-il jamais été question d'en faire une carte propre à l'étude des grands projets de travaux publics.

Cependant, les minutes que le dépôt de la guerre a mises avec empressement à la disposition des ingénieurs, ont rendu de très-grands services, particulièrement dans les avant-projets des tracés de chemins de fer. Ces minutes sont dessinées à l'échelle du 40 000e et couvertes de courbes de niveau. Ce sont ces courbes qui ont été si utiles [4], et il est bien évident qu'avec

1. Circulaire de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 16 août 1858, sur l'opportunité d'un nivellement général de la France.

2. Non compris la Savoie et le comté de Nice.

3. On ne saurait mieux faire, pour avoir une idée exacte des difficultés et de la perfection de ce travail, que de consulter la *Notice* publiée par le colonel d'état-major (aujourd'hui général) Blondel, directeur du dépôt de la guerre. Paris, 1853.

4. M. Bourdaloué a publié à ses frais la carte du département du Cher, à l'échelle du 40 000e. Il avait proposé de publier de même le nivellement général de la France en le rapportant sur les minutes de la carte de l'état-major. L'ad-

une plus grande échelle, on eût pu pousser encore plus loin les études préliminaires. Mais au point de vue de la dépense, l'adoption d'une échelle supérieure au 40 000e pour les minutes, et au 80 000e pour la gravure, pouvait rencontrer des obstacles insurmontables, à l'époque où fut décrétée cette grande entreprise, et l'on ne peut, sous tous les rapports, que se féliciter de la solution qui a été obtenue. Je n'en suis pas moins disposé à croire que les cartes à très-grande échelle ne tarderont pas à devenir indispensables, et nos voisins d'outre-Manche en paraissent bien convaincus pour leur part, car après avoir exécuté la carte d'Angleterre à l'échelle du 63 400e (1 pouce pour 1 mille), ils n'ont pas hésité à entreprendre et à achever la carte d'Irlande à l'échelle du 10 600e (6 pouces pour 1 mille)[1]. Cette dernière comprend à elle seule 1907 feuilles couvertes de nombreuses courbes de niveau, dont plusieurs sur chaque feuille ont été levées avec une scrupuleuse exactitude, et ont servi à tracer les courbes intercalaires.

N'est-ce pas là une preuve, on peut dire palpable, de ce besoin incessant de progrès qui sollicite les nations comme les individus. Et, en effet, à mesure que les sciences et les arts se développent, le sol, nous le savons tous, acquiert de jour en jour une plus grande valeur. Ne devient-il pas nécessaire dès lors d'en étudier de plus en plus attentivement toutes les ressources, dont les principaux éléments nous sont fournis par la topographie ?

Voyons maintenant ce que sont les plans du cadastre, dont je

ministration était favorable à ce projet, et M. le ministre des travaux publics avait consulté les conseils généraux, dont il réclamait naturellement le concours. Il ne paraît pas que ces conseils se soient bien rendu compte, pour la plupart du moins, de l'utilité de la dépense qu'on leur demandait de voter. Peut-être les trouvera-t-on mieux disposés plus tard à prendre part à une œuvre encore plus considérable, la publication des cartes d'assemblage du cadastre à l'échelle du 10 000e avec courbes de niveau.

1. En Belgique, MM. P.-C. Popp, ancien contrôleur du cadastre publie, avec l'autorisation du gouvernement, l'*Atlas cadastral parcellaire de toutes les communes*, à l'échelle du 2500e ou du 5000e. Le plan de chaque commune est accompagné d'un tableau indicatif détaillé, et de la matrice cadastral avec toutes les mutations. Le prix moyen du plan d'une commune est de 20 fr.

Rien ne serait plus utile que d'imiter cet exemple en France.

me plais à reconnaître l'excellente exécution dans ceux de nos départements où j'ai eu l'occasion de les consulter. Ces plans sont dessinés aux plus grandes échelles, et renferment par conséquent tous les détails que l'on peut désirer, en ce qui concerne la *planimétrie*, mais ils ne donnent aucune idée exacte du relief, ils ne portent aucune trace du nivellement[1]. On peut donc dire sans hésiter qu'ils sont incomplets, si on se place au point de vue de l'exploitation agricole raisonnée qui réclame tous les secours de l'art; mais il y a plus, ils sont insuffisants même à ne les considérer qu'avec leur caractère spécial. Si vous voulez vous en assurer, demandez-le, je ne dis pas aux géomètres, dont l'opinion pourrait vous être suspecte, mais aux propriétaires, aux receveurs des contributions, aux magistrats[2], à tous ceux, en un mot, qui s'occupent à un titre quelconque de l'administration de la propriété foncière.

Quel était, en effet, le double but du cadastre? Une répartition équitable (la peréquation) de l'impôt territorial, la création d'un titre de propriété offrant une garantie légale[3].

De ces deux buts, le premier n'a été atteint que fort imparfaitement, le second ne l'a pas été du tout. Est-ce à dire que la chose soit impossible? assurément non. Seulement il faudrait, pour la réaliser, procéder à des opérations qu'on ne pouvait peut-être pas entreprendre du premier coup; il faudrait créer tout un service de conservation qui entraînerait une dépense considérable, cela est vrai, mais qui éviterait par la suite bien des erreurs d'appréciation, bien des erreurs volontaires ou involontaires sur

1. On m'a assuré que, depuis quelque temps, l'usage des courbes de niveau avait été adopté par plusieurs géomètres-arpenteurs. Je manque à cet égard de renseignements positifs, mais je persiste à croire que les travaux multipliés de drainage ont dû produire et produiront nécessairement ce résultat. L'administration des forêts a de son côté prescrit officiellement l'emploi des courbes de niveau à ses agents qui exécutent de véritables plans cadastraux. (*Instruction sur les levées topographiques et le dessin des plans*. Paris, 1860.)

2. Voir à ce sujet l'excellent ouvrage intitulé : *Du cadastre et de la délimitation des héritages*, par F. H. V. Noizet, ancien magistrat. Paris, 1861, avec un appendice, Paris, 1863.

3. Recueil méthodique des lois, décrets, règlements, etc., sur le cadastre de la France, approuvé par le Ministre des finances, Paris, 1811. Titre I, art. 14; titre IV, art. 167; titre VII, art. 703; et titre XV, art. 1134 à 1144.

les contenances déclarées par le vendeur à l'acquéreur, bien des procès ruineux[1].

Il n'est donc pas douteux qu'un peu plus tôt, un peu plus tard, la révision du cadastre deviendra indispensable, et c'est alors que pourra se réaliser complétement le vœu que j'ai exprimé, et sur lequel ce n'est pas le moment d'insister.

Je résume en quelques mots les considérations que je viens de vous exposer. Le but principal que je me propose dans ces leçons est de vous mettre à même de recourir aux documents existants, en vous en indiquant l'origine, le degré d'exactitude, enfin l'usage qu'on en peut faire dans les opérations de détail et même pour la connaissance de plus en plus parfaite de la topographie de la France. Je m'efforcerai, en outre, de vous faire connaître les méthodes et les instruments qui offrent le plus de précision et qui tendent à se perfectionner de jour en jour, parce que les opérations auxquelles on les destine ne peuvent réussir elles-mêmes qu'à cette condition.

Vous faut-il des preuves de ce besoin de précision, je les trouverais sans peine dans les tracés des mille ramifications de nos voies ferrées ou de nos canaux, mais je choisirai deux exemples encore plus frappants, le canal de Suez et le tunnel des Alpes. Le percement de l'isthme de Suez est une entreprise qui a eu un tel retentissement, qu'il est peut-être banal d'en parler. Je n'en dirai donc qu'un mot, mais j'avoue que j'éprouve un vrai plaisir à citer une seconde fois le nom de M. Bourdalouë, de ce modeste et si habile opérateur, à qui l'on doit d'avoir su positivement, et contrairement au dire des savants ingénieurs de l'expédition d'Égypte, que la mer Rouge et la mer Méditerranée ont un même niveau.

C'est grâce à cette certitude seule qu'il est devenu possible de tenter cette grande opération dont l'issue probable a été l'objet de tant de controverses passionnées. Si elle réussit, et tout donne lieu de l'espérer, à qui le devra-t-on? à M. Bourdalouë, sans doute, et à Linant-Bey (M. Linant de Bellefonds) qui a dirigé les premières études du canal[2], mais il serait injuste d'omettre

1. Recueil méthodique.

2. Evidemment aussi à la persévérance de M. de Lesseps et au talent de nos ingénieurs, à la tête desquels se trouve mon ancien camarade et ami, Voisin.

ces deux particularités importantes, à savoir que ces ingénieurs opéraient dans des circonstances bien différentes de celles où s'étaient trouvés leurs prédécesseurs, et qu'ils avaient des instruments beaucoup plus parfaits que ceux dont on disposait il y a soixante ans.

J'arrive actuellement au tunnel des Alpes, au sujet duquel je crois devoir donner un peu plus de détails.

Dans ce cas, en effet, il n'y avait pas seulement à s'enquérir d'une différence de niveau entre les deux extrémités du passage, il fallait encore tracer l'axe du souterrain de manière que les galeries ouvertes aux deux extrémités vinssent concorder au même point. Cette opération a exigé les instruments les plus délicats, employés dans les circonstances les plus difficiles[1]. J'extrais le passage suivant d'une notice inédite, dont je dois la communication à l'obligeance d'un ami qui a visité récemment ce grand travail[2].

« L'entrée de *Fourneaux*[3] servant de point de départ, on jalonna une ligne dans la direction de celle de *Bardonnèche*, et après plusieurs essais, on parvint à l'atteindre; mais ce n'était qu'une opération préliminaire qui ne comportait pas une précision suffisante. Un repère fixe en maçonnerie fut installé à 2 949 mètres d'altitude, au point où la ligne tracée coupait le faîte de la montagne; on y transporta un théodolite pourvu d'une excellente lunette astronomique, et de ce point culminant on redescendit, en posant de distance en distance des repères fixes, jusqu'au fond des vallées et même jusqu'aux flancs opposés où l'on établit des observatoires dans le prolongement exact du souterrain. Dans ces observatoires on a fixé, d'une manière invariable, des lunettes que l'on dirige alternativement vers les repères du faîte et vers un signal de feu dans le souterrain. On vérifie ainsi, tous les deux ou trois mois, la marche du travail pour s'assurer qu'il n'y a aucune déviation latérale. Il est intéressant de rechercher

1. Voir à ce sujet, et pour tous les détails techniques, les *Conférences sur le tunnel des Alpes, faites à l'École impériale des ponts et chaussées*, par M. Conte, ingénieur en chef de la Savoie, brochure in-folio, lithographiée, 1864.

2. Cette notice a été publiée depuis peu dans le *Correspondant*.

3. Fourneaux et Bardonnèche sont les noms des deux villages les plus voisins de chacune des extrémités du tunnel, l'un en France, l'autre en Italie.

le degré d'exactitude que comportent les observations et les instruments employés.

« Le théodolite transporté au faîte des Alpes permettait de mesurer les angles à cinq secondes près; si cette erreur maximum a été commise, l'axe formerait une ligne brisée au milieu de sa longueur, donnant à l'une de ses extrémités une déviation de 29 centimètres. Telle est du moins l'évaluation des ingénieurs chargés de cette importante opération.

« Une erreur de 20 centimètres a également pu être commise dans la fixation de chacun des observatoires. En somme, on peut admettre que les deux attaques des travaux se rencontreront au centre de la montagne avec une erreur de 40 à 50 centimètres tout au plus.

« La longueur du tunnel déduite de deux séries distinctes de triangles dont les angles ont été mesurés avec le plus grand soin est de 12 220 mètres. »

Enfin le nivellement, d'une exécution plus difficile encore, a fixé l'entrée sur le versant français à l'altitude de 1203 mètres au-dessus du niveau de la mer, et la sortie du côté piémontais, à 1335 mètres, ce qui fait une différence de 132 mètres sur laquelle il peut également y avoir une légère erreur.

Ces deux exemples suffisent, à coup sûr, pour prouver la nécessité d'une recherche de précision toujours croissante. Fort heureusement cette précision s'introduit peu à peu dans les habitudes, et loin d'entraîner des pertes de temps, elle contribue, comme j'aurai l'occasion de le montrer, à accélérer les opérations, dans la plupart des circonstances.

J'ai cherché, je cherche encore, Messieurs, à aller au-devant de toutes les objections. Ainsi, ne pourrait-on pas me dire qu'on ne perce pas tous les jours le Mont-Cenis[1] ou l'Isthme de Suez, et que ce sont là des travaux qu'on ne recommence plus; que dès lors il était bien inutile d'aller choisir des cas aussi extraordinaires, enfin que j'ai peut-être une tendance à donner à mon enseignement un caractère différent de celui qu'il doit avoir.

1. Je me conforme ici à l'usage, mais il est bon de rappeler que le célèbre tunnel est à 25 kilomètres du mont Cenis, du côté du Nord, et qu'il passe en réalité sous le mont Fréjus. M. Conte, dans ses conférences, l'a désigné sous le nom de tunnel des Alpes, qui est celui que les Italiens lui ont donné (traforo delle Alpi).

Je m'empresse de rassurer ceux qui pourraient avoir une pareille crainte, en m'engageant à n'employer que des démonstrations très-élémentaires dans la forme, mais sans perdre de vue le but que tous, ingénieurs, artistes, opérateurs, nous devons nous efforcer d'atteindre, le perfectionnement des instruments et des méthodes.

Quant aux grands travaux accomplis ou en train de s'accomplir et que l'on pourrait être tenté de considérer comme le suprême effort de l'homme aux prises avec la nature, qu'on veuille bien me permettre de n'en rien croire et de me ranger à l'avis tout différent de l'une des plus belles intelligences de ce siècle.

« Dans chaque époque, dit M. de Humboldt[1], il y a des esprits faibles disposés à croire complaisamment que l'humanité est arrivée à l'apogée de son développement intellectuel. Ils oublient que par l'effet de la liaison intime qui unit tous les phénomènes de la nature, le champ s'élargit à mesure que l'on avance, et que la limite qui le borde à l'horizon recule incessamment devant l'observateur. »

Tâchons, Messieurs, sans tomber dans aucune espèce d'exagération, de bien nous pénétrer du sens de ces grandes vérités dont chaque jour nous apporte l'éclatante confirmation.

Dans les premières leçons qui vont suivre, j'exposerai l'ensemble des opérations qui servent à assurer l'exactitude d'un lever topographique de quelque étendue. Je décrirai à cette occasion les organes des instruments de précision, les principes de la construction et l'usage de ces instruments.

Je m'occuperai ensuite des opérations de détail, en faisant connaître les principales méthodes suivies dans les différents services publics.

J'insisterai particulièrement sur les procédés de nivellement, sur les propriétés des courbes de niveau et sur les nombreuses et utiles applications que l'on en peut faire.

Je donnerai enfin une idée générale des méthodes expéditives de lever et de nivellement qui comportent moins de précision que les précédentes, mais qui peuvent cependant rendre de

1. *Cosmos*, tome II, page 358 de l'édition française. Traduction de M. Galusky.

grands services dans une foule de circonstances, notamment dans les expéditions lointaines ou dans les excursions rapides à travers un pays dont la topographie est peu connue, dans les études d'avant-projets, etc.

Je ne demanderai à mes auditeurs, pour toute cette partie du cours, que des notions élémentaires de géométrie et de trigonométrie, notions que je rappellerai au besoin. Je remettrai aux dernières leçons, et s'il me reste le temps nécessaire, les détails relatifs aux calculs logarithmiques.

RECHERCHES SUR LE PLATRAGE
DES TERRES ARABLES,

PAR M. P. P. DEHÉRAIN.

DEUXIÈME PARTIE.

Dans un premier mémoire inséré dans le quatrième volume des *Annales*[1], j'ai indiqué les premiers résultats auxquels m'ont conduit les recherches que j'ai entreprises depuis plusieurs années sur le plâtrage des terres arables. J'ai montré que l'eau enlevait à une terre arable plâtrée plus de potasse qu'à une terre qui n'avait pas été amendée avec du gypse; ainsi en lavant avec de l'eau pure 10 échantillons de 1 kilogramme de terres très-diverses, on leur a enlevé 1gr·095 de potasse, tandis que les mêmes terres, après avoir été plâtrées, ont cédé à l'eau 2gr·525 de potasse. Ce fait important trouvait sa confirmation dans l'analyse des plantes plâtrées et non plâtrées, on découvrait toujours plus de potasse dans les légumineuses qui s'étaient développées dans un sol amendé avec du sulfate de chaux, que dans celles qui avaient végété dans une terre qui n'avait pas reçu de gypse.

J'avais essayé en vain, il y a deux ans, de trouver une explication convenable de l'action dissolvante qu'exerçait le plâtre sur la potasse; je pense être plus heureux aujourd'hui et pouvoir indiquer la raison des faits que j'ai observés. Toutefois, avant d'exposer la nouvelle théorie du plâtrage que je propose aux agronomes, je dois, pour ne laisser aucun doute dans l'esprit sur les faits qu'établit mon premier mémoire, les appuyer par de nouvelles expériences.

1. Page 161. — 1863.

§ I. — *Le plâtre favorise la solubilité de la potasse que renferme la terre arable. Confirmation des résultats précédemment annoncés par l'auteur.*

Au lieu de chercher, comme je l'ai fait d'abord, la potasse contenue dans une terre arable plâtrée et non plâtrée et de tirer de cette comparaison l'explication des effets de cet amendement, j'ai ajouté de la potasse à diverses matières absorbantes, et j'ai ensuite essayé d'extraire cette potasse en ajoutant du plâtre à ces matières absorbantes. Souvent aussi j'ai fait deux lots des matières capables de retenir la potasse; les unes recevaient du plâtre, tandis que les autres restaient à leur état primitif : après avoir mis ces matières absorbantes en contact avec des dissolutions de potasse titrées, on déterminait la quantité d'alcali qui avait été respectivement retenue dans les deux séries d'échantillons.

Ces expériences ont été faites avec de l'alumine lavée et séchée à l'air et avec du kaolin. Ce dernier m'a d'abord donné des résultats très-divergents, et je fus quelque temps avant d'en pénétrer la cause; elle n'était autre que la présence du plâtre même dans certains échantillons de kaolin, lavés sans doute avec des eaux séléniteuses; aussi j'engage beaucoup les chimistes, qui voudraient vérifier ces expériences d'absorption, à s'assurer d'abord que le kaolin qu'ils emploient ne renferme pas de plâtre.

Les expériences d'absorption étaient conduites de la manière suivante : on prenait 50 grammes de kaolin ou d'alumine séchée à l'air; on s'assurait qu'ils étaient exempts de potasse, et on ajoutait à l'un des échantillons de $2^{gr}\cdot5$ à 5 gr. de plâtre cuit, puis on y faisait tomber $100^{cc\cdot}$ d'une dissolution de carbonate de potasse préalablement titrée; on laissait en contact vingt-quatre heures, on filtrait, on mesurait le liquide obtenu, et on concluait d'après la quantité de potasse trouvée dans le liquide filtré à ce qu'on aurait obtenu si tout le liquide eût été extrait de la matière absorbante.

Absorption de la potasse à l'état de carbonate par le kaolin et l'alumine.

NATURE ET QUANTITÉ de la matière absorbante.	POIDS de la potasse ajoutée à l'état de carbonate.	POIDS du plâtre cuit ajouté.	POIDS de la potasse retrouvée en supposant tout le liquide extrait.	POIDS de la potasse retenue par la matière absorbante.	POIDS de la potasse retenue pour 100 de potasse ajoutée.
50 gr. kaolin. .	0g214	0	0g072	0g142	66
50 gr. kaolin. .	0,100	0	0,039	0,061	61
50 gr. kaolin. .	0,100	0	0,041	0,059	59
50 gr. alumine.	0.100	0	0,049	0,051	51
50 gr. alumine	0,100	0	0,058	0,042	42
250 gr. de matière absorbante....	0g614	0	0,259	0,355	55

Absorption de la potasse à l'état de carbonate par le kaolin et l'alumine plâtrés.

NATURE ET QUANTITÉ de la matière absorbante.	POIDS de la potasse ajoutée à l'état de carbonate.	POIDS du plâtre cuit ajouté.	POIDS de la potasse retrouvée en supposant tout le liquide extrait.	POIDS de la potasse retenue par la matière absorbante.	POIDS de la potasse retenue pour 100 de potasse ajoutée.
50 gr. kaolin. .	0g214	5g	0g110	0g104	48
50 gr. kaolin. .	0,100	2.5	0,063	0,037	37
50 gr. kaolin. .	0,100	5	0,097	0,003	3
50 gr. alumine.	0,100	5	0.103	0,000	0
50 gr. alumine.	0,100	5	0,097	0,003	3
250 gr. de matière absorbante....	0g614	2g25	0g470	0g147	18

On voit, d'après ces chiffres, que la matière absorbante à l'état normal a retenu 55 p. 100 de la potasse qu'elle a reçue, tandis qu'elle n'en a retenu que 18 p. 100, quand elle avait d'abord été mélangée de plâtre.

Les résultats précédents sont donc assez nets pour qu'il n'y ait plus d'hésitation possible, et on peut affirmer qu'un des effets qu'exerce le plâtre sur la terre arable est bien de mobiliser la potasse et de l'empêcher d'être absorbée par les matières argileuses.

§ II. — *Le plâtre favorise également la solubilité de l'ammoniaque.*

On sait que les chimistes anglais, MM. Huxtable, Thompson et Way, qui ont surtout attiré l'attention sur les propriétés ab-

sorbantes de la terre arable, ont montré que ces propriétés s'exerçaient aussi énergiquement sur l'ammoniaque que sur la potasse : il était donc intéressant de reconnaître si le plâtre favoriserait la solubilité de l'alcali volatil, comme il favorise celle de l'alcali fixe ; on résolut aussi d'employer pour ces expériences, tantôt le plâtre cuit, tantôt le plâtre cru, pour reconnaître si sous ces deux formes le sulfate de chaux présentait des propriétés semblables. On a conduit les expériences de la façon suivante : on prenait un échantillon de terre, on y dosait d'abord, par l'élégant procédé de M. Boussingault, l'ammoniaque totale, puis on préparait deux échantillons de chacune des terres mises en expérience ; l'un restait à l'état normal, l'autre recevait 10 p. 100 de plâtre cuit, ou 10 p. 100 de plâtre cru ; chacun d'eux était lavé avec des quantités d'eau égales, et on déterminait dans l'eau de lavage la quantité d'ammoniaque enlevée, en recueillant le liquide qui passait à la distillation, l'additionnant d'acide sulfurique titré, puis cherchant avec une dissolution de potasse suffisamment étendue le titre nouveau que présentait l'acide, partiellement saturé par l'ammoniaque, dégagée de l'eau de lavage des terres[1].

Le tableau suivant indique les résultats auxquels on est arrivé.

DÉSIGNATION des TERRES.	AMMONIAQUE totale dans 1 kilogr. de terre.	AMMONIAQUE enlevée par l'eau à la terre normale.	AMMONIAQUE enlevée par l'eau à la terre plâtrée.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	AMMONIAQUE enlevée par l'eau pour 100 à la terre normale.	AMMONIAQUE enlevée par l'eau pour 100 à la terre plâtrée.
Terre de Verclives (Eure).	0,028	0,008	0,014	0,005	28,9	50
Terre des Douves (I. et L.)	0,140	0,046	0,084	0,039	32,8	60
T. de la Marchandière (id.)	0,204	0,070	0,116	0,046	34,3	56,8
Expérience avec le plâtre cru.						
Terre de la Marchandière.	0,204	0,070	0,150	0,080	34,3	73,5
	0,576	0,194	0,354	0,160	32,6	60,0

En résumé, on voit donc que sur 100 parties d'ammoniaque

1. *Agronomie, Chimie agricole*, t. II, page 170

contenue dans la terre arable, l'eau pure en enlevait 32.6, tandis que, lorsque la terre avait été mélangée de plâtre, l'eau enlevait 60.4 Ainsi le plâtre favorise non-seulement la solubilité de la potasse contenue dans la terre arable, mais aussi celle de l'ammoniaque. Il nous reste à préciser les causes auxquelles on peut attribuer les effets constatés.

§ III. *Pourquoi le plâtre favorise la solubilité de la potasse et de l'ammoniaque contenues dans la terre arable.*

La terre arable renferme en général une quantité considérable de matières azotées qui, se décomposant peu à peu, donnent naissance à du carbonate d'ammoniaque, qu'on peut considérer, non pas comme la dernière forme que puisse affecter l'azote combiné puisque l'ammoniaque peut encore se brûler et donner de l'acide nitrique, mais comme une des formes transitoires sous laquelle l'azote devient assimilable par les plantes. La terre arable renferme aussi de la potasse à l'état de carbonate; ce sel provient de l'action de l'acide carbonique toujours abondant dans les sols riches en débris organiques sur les roches plus ou moins désagrégées qui constituent notre sol cultivé. Nous trouvons donc dans la terre arable du carbonate d'ammoniaque et du carbonate de potasse en quantité très-faible à coup sûr, mais suffisante cependant pour avoir une influence marquée sur la fertilité; ajouter à ces carbonates, enfouis dans la terre, du plâtre, c'est certainement donner naissance à des sulfates; on sait, en effet, que toutes les fois que des sels sont en contact ils se décomposent mutuellement, surtout quand ils peuvent donner par l'échange des bases et des acides des composés présentant des propriétés physiques différentes de celles des corps réagissants. L'insolubilité du carbonate de chaux sera donc une des causes de cette décomposition, et il se formera dans une terre plâtrée du sulfate de potasse et du sulfate d'ammoniaque. Ne serait-ce pas à cette décomposition, à cette transformation des carbonates en sulfates que serait due la plus grande mobilité des bases que renferme la terre plâtrée, et si nous pouvons enlever à un sol ainsi amendé plus de potasse et d'ammoniaque qu'à un sol normal, n'en pouvons-nous trouver

la raison dans l'intensité variable avec laquelle les argiles retiennent les sulfates et les carbonates.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons préparé des liqueurs titrées de carbonates et de sulfates de potasse et d'ammoniaque. Ces dissolutions doivent être très-étendues pour que les effets d'absorption soient très-sensibles. — Les opérations sont très-faciles à exécuter; on met en contact de 50 à 100 ou à 200 grammes de kaolin ou de terre avec une dissolution titrée de potasse ou d'ammoniaque à l'état de sulfate ou de carbonate; on mesure le volume de dissolution ajoutée, on laisse le liquide en contact avec la matière absorbante, puis on filtre. On mesure le liquide recueilli et on dose la potasse et l'ammoniaque à l'aide du chlorure de platine, en ayant soin d'opérer sur des matières absorbantes qui ne cèdent à l'eau pure ni potasse ni ammoniaque. On sait au reste que la quantité de ces bases que l'eau peut enlever à 150 ou 100 gr. de terre est extrêmement faible et ne peut avoir d'influence sur les résultats.

On conclut, de la quantité de base trouvée dans le volume du liquide recueilli, à ce qu'on aurait obtenu si on avait pu retirer de la matière absorbante tout le liquide introduit; on constate ainsi un appauvrissement de la liqueur qui indique la quantité de base absorbée.

Absorption comparée de la potasse à l'état de carbonate et à l'état de sulfate.

NATURE ET POIDS des MATIÈRES ABSORBANTES.	POIDS de la potasse ajoutée.	POIDS de la potasse retrouvée.	POIDS de la potasse retenue.	POTASSE retenue pour 100 parties ajoutées.
1° CARBONATE DE POTASSE.				
50g kaolin	0,588	0,092	0,496	85
50g kaolin	0,588	0,075	0,513	87
50g kaolin	0,214	0,072	0,142	66
100g terre de Touraine	0,100	0,000	0,100	100
200g terre du Luxembourg	0,075	0,050	0,025	33
500g matières absorbantes	1,565	0,289	1,276	74
2° SULFATE DE POTASSE.				
100g kaolin	0,470	0,307	0,063	35
50g kaolin	0,266	0,120	0,146	35
100g terre de Touraine	0,100	0,030	0,070	30
100g terre du Luxembourg	0,097	0,092	0,005	5
350g matières absorbantes	0,933	0,549	0,284	31

Nous voyons donc que le carbonate de potasse est retenu par la terre arable et par le kaolin, bien plus énergiquement que le sulfate. Si j'ai émis dans mon premier mémoire une opinion différente, c'est que je n'avais pas assez varié les conditions de l'expérience et que j'avais employé des dissolutions trop concentrées. Quand, en effet, on prend des dissolutions de carbonates alcalins qui attaquent vivement l'humus et passent très-colorées, les résultats sont très-différents : les propriétés absorbantes disparaissent, et les carbonates filtrent plus complétement que les sulfates; l'influence de la concentration des liqueurs est particulièrement sensible dans les expériences suivantes.

On a mis en contact avec de la terre arable une dissolution de sulfate de potasse renfermant 8g,09 de potasse par litre, on a

trouvé que 100^{cc} renfermant d'abord 0^g,809 n'en renfermaient plus que 0^g,616 après un séjour de 24 heures; que, par conséquent, il y avait eu 22.7 °/₀ de potasse retenue; tandis qu'en prenant une dissolution de carbonate de potasse renfermant 10^g,900 de potasse par litre, on trouva que 8 °/₀ de potasse seulement étaient retenus, puisque 100^{cc} mis en contact avec la terre renfermant par conséquent 1^g,09 (on avait dosé sur 10^{cc}) en renfermaient encore après un séjour de 24 heures 1^g,010.

Si donc on emploie le carbonate de potasse et le sulfate en dissolutions concentrées, on trouve que le sulfate passe moins bien que le carbonate, mais les rapports changent complétement si on fait les essais avec des dissolutions étendues comme nous l'avons vu plus haut et comme le prouve encore l'expérience suivante : Une dissolution de sulfate de potasse renfermant 0^g,148 de potasse n'a plus donné, après avoir passé sur la terre qui avait servi à l'expérience précédente que 0^g,070, c'est-à-dire que 52,74 °/₀ ont été retenus, tandis qu'une dissolution de carbonate de potasse renfermant 0^g,236 de potasse dans 100^{cc} avant l'expérience, n'en a plus donné que 0,061 après son séjour sur la terre, c'est-à-dire qu'il y a 73,8 °/₀ de potasse retenue. Ces expériences prouvent donc que les dissolutions étendues de sulfate de potasse produites dans la terre par la réaction du carbonate de potasse sur le sulfate de chaux passent plus facilement au travers de cette terre, sont plus mobiles, sont moins bien absorbées par l'argile que les dissolutions de carbonate, et elles semblent indiquer que la mobilité de la potasse dans les terres plâtrées doit être attribuée à sa transformation en sulfate.

La mobilisation de l'ammoniaque sous l'influence du plâtre est due à la même cause. On a reconnu en effet que le sulfate d'ammoniaque était retenu beaucoup moins énergiquement que le carbonate par la terre arable ou par une substance argileuse comme le kaolin; c'est ce que démontre l'expérience suivante : 100^{cc} d'une dissolution de sulfate d'ammoniaque renfermant 0^g,063 d'ammoniaque, en donnaient encore 0^g,043 après avoir séjourné avec 50 gr. de kaolin ou 50 gr. de terre; il y avait eu par conséquent, dans les deux cas, 31,5 °/₀ d'ammoniaque absorbée, tandis qu'en plaçant dans les mêmes conditions une dissolution de carbonate d'ammoniaque dont 100^{cc} renfermaient 0^g,055 d'ammoniaque, on n'a trouvé que 0^g,022 après un contact

de 24 heures avec le kaolin, et qu'il a été impossible d'en déceler la moindre trace dans l'eau qui avait passé sur la terre arable; c'est-à-dire qu'il y a eu 60 °/₀ d'ammoniaque retenue par le kaolin, et 100 °/₀ par la terre arable. M. Brustlein a trouvé dans quelques-uns des essais que renferme l'important mémoire qu'il a publié, il y a quelques années, sur les propriétés absorbantes de la terre arable, des faits analogues pour des dissolutions d'ammoniaque libre, qui très-probablement ne persiste pas sous cette forme dans la terre arable où se rencontre toujours de l'acide carbonique en liberté. Je citerai notamment une expérience faite avec une liqueur étendue comme celle que nous avons employée nous-même, où 1 kilogr. de terre mis en contact avec 0,295 d'ammoniaque en a absorbé $0^g,283$, c'est-à-dire presque la totalité.

Ainsi, en résumant toutes les expériences précédentes, on trouve que :

Sur 100 de potasse introduits dans une matière absorbante à l'état de carbonate. .	74 sont retenus.
Sur 100 de potasse introduits à l'état de sulfate.	32 sont retenus.
Sur 100 d'ammoniaque introduits à l'état de carbonate.	80 —
Sur 100 d'ammoniaque introduits à l'état de sulfate	31,5 —

§ IV. *Conséquences qui découlent des faits précédents. Explication des effets du plâtrage des terres arables.*

Quand les progrès de la chimie agricole eurent permis de rechercher dans la terre arable les principes utilisables par les plantes, on fut vivement frappé de l'abondance des matières azotées qu'on rencontrait dans le sol, et M. le baron de Liebig crut pouvoir en conclure que les engrais azotés étaient complétement inutiles puisqu'ils n'apportaient au sol qu'un complément insignifiant de matières semblables, croyait-on, à celles que la terre renferme déjà. De cette opinion naquit la fameuse théorie minérale que les chimistes anglais MM. Lawes et Gilbert, et que M. Boussingault en France ont combattue avec succès. Si, en

effet, on avait analysé la terre arable plus complétement on n'aurait pas tardé à y découvrir aussi une quantité considérable de principes minéraux semblables à ceux qu'apportent les engrais eux-mêmes; de telle sorte qu'il n'aurait pas fallu seulement déclarer inutiles les engrais azotés, mais aussi les engrais minéraux. — La pratique agricole, sans se soucier cependant de cette querelle qui se passait au-dessus d'elle, continuait à employer les engrais avec une abondance croissante, et les expériences des agronomes vinrent bientôt en donner la raison.

On aurait une idée absolument fausse de la quantité de matériaux qui peuvent servir à l'alimentation des plantes en faisant l'analyse élémentaire du sol arable; il faut procéder plus délicatement et distinguer parmi ces matériaux azotés, phosphatés, etc., ceux qui peuvent être mis actuellement à la disposition des plantes. M. Boussingault qui, dans ces dernières années, s'est particulièrement occupé de ce sujet, a montré d'abord qu'une plante végétait dans une petite quantité d'une terre excellente, renfermant une quantité d'azote suffisante pour fournir au développement de ses tissus, comme dans du sable calciné, et qu'elle ne pouvait s'assimiler aucune partie des matières azotées que le sol renfermait.

Cette expérience montra l'importance des études qui ont pour but de distinguer parmi les principes du sol ceux qui sont actuellement assimilables, de ceux que la plante ne peut absorber. M. Boussingault fit cette étude et indiqua des procédés très-élégants pour doser l'ammoniaque et l'acide azotique; il put conclure de ses recherches que ces principes se trouvaient dans la terre arable en quantités très-faibles, et que l'utilité des engrais azotés devait être d'ajouter leur contingent d'ammoniaque ou d'acide azotique à ceux que le sol renferme en si minime proportion; l'usage des cendres dut être de même expliqué par l'apport du carbonate de potasse soluble venant s'ajouter aux minimes proportions de ce sel qu'on trouve dans la terre, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Sans doute les engrais de ferme ou le guano ne renferment pas seulement des matières immédiatement assimilables; les remarquables expériences de synthèse de M. P. Thénard ont montré que les matières carbonées en décomposition fixent l'azote de l'ammoniaque et forment des produits bruns, complexes, insolubles et assez stables; mais une

partie de l'ammoniaque échappe à cette combinaison et arrive sur la terre sous une forme facilement assimilable. Nous concevons donc quelle est l'utilité des engrais immédiatement assimilables, et nous comprenons qu'il peut être profitable d'ajouter à une terre cultivée des engrais renfermant du carbonate d'ammoniaque ou des cendres riches en carbonate de potasse; supposons donc qu'une terre reçoive des engrais de ferme et des cendres, et voyons ce qui va avoir lieu; ces carbonates dissous bientôt par l'eau de pluie vont pénétrer dans la couche supérieure du sol où ils vont être retenus par l'argile qui s'y trouve, tellement que la proportion que l'eau pourra entraîner sera de plus en plus faible à mesure que cette eau ayant traversé des couches plus nombreuses sera descendue plus profondément. Cette propriété absorbante de la terre sera très-profitable aux plantes qui vivent dans les couches superficielles; aussi voit-on que les céréales, dont les racines s'étalent à la surface du sol affectionnent particulièrement les terrains argileux qui retiennent les engrais dans les couches où elles végètent. Mais il n'en sera plus ainsi pour les légumineuses dont les racines s'enfoncent au-dessous de la couche arable ordinaire; les racines du sainfoin, par exemple, pénètrent quelquefois jusqu'à deux mètres de profondeur et peuvent s'étendre plus loin encore dans les interstices des roches calcaires[1]. On rencontre des racines de luzerne à des profondeurs plus grandes encore; M. de Gasparin en a vu de quatre mètres de longueur, et il en existe, dit-on, qui atteignent même une profondeur considérable. Ces plantes pourront peut-être prospérer dans un sol sablonneux où les principes des engrais ne seront pas retenus dans les couches superficielles du sol, mais il n'en sera plus ainsi dans les terrains argileux, et pour que les alcalis puissent arriver jusqu'à ces racines profondément enfoncées, il faudra qu'elles échappent aux propriétés absorbantes de l'argile : c'est dans ce cas qu'on fera intervenir le plâtre.

Le plâtre me paraît donc avoir sur la terre arable une action tout à fait déterminée, tout à fait spéciale : il a pour but de faire passer

1. Voyez sur ce sujet un excellent travail de M. Is. Pierre : *Prairies artificielles*, des causes de diminution de leurs produits, ouvrage couronné par la Société d'agriculture d'Orléans. 1861.

les alcalis de la couche superficielle où ils sont habituellement retenus dans les couches profondes où les racines des légumineuses vont chercher leurs aliments.

On remarquera que cette conclusion est tout à fait indépendante de l'explication que je donne des effets du plâtre, qu'il ait ou non pour effet de transformer les carbonates alcalins en sulfates, qu'il agisse chimiquement ou physiquement, les faits qu'établissent les deux premiers paragraphes de ce mémoire suffisent pour qu'on puisse se convaincre que le plâtre donne à la potasse et à l'ammoniaque contenues dans la terre arable une mobilité qu'elle n'aurait pas sans lui; ces faits expliquent comment cet agent favorise la végétation des plantes à racines profondes comme les légumineuses, tandis qu'il n'exerce aucune action sur les plantes dont les racines s'arrêtent dans les couches supérieures du sol.

Toutefois l'interprétation que j'ai proposée de l'effet du plâtre trouve plusieurs confirmations qui me paraissent prouver qu'elle est d'accord avec les faits.

J'ai montré dans le paragraphe III que les sulfates passent bien au travers de la terre arable. Or, à quelque état qu'on suppose l'ammoniaque ou la potasse dans la terre, elle finira toujours sous l'influence du plâtre par se métamorphoser plus ou moins complétement en sulfate, et par pouvoir pénétrer dans les couches profondes. Si le plâtre agit bien comme sulfate, s'il a bien pour but d'amener la potasse et l'ammoniaque à l'état de sulfate, il ne doit pas être seul à exercer son effet et pourra être remplacé par d'autres sulfates. Or, il est reconnu que les agronomes ont obtenu d'excellents effets d'un mélange de sulfate de magnésie et de sulfate de potasse; les récoltes amendées avec ces matières ont même été supérieures à celles qui avaient reçu du plâtre seulement, et cela se conçoit, car le plâtre ne crée pas la potasse et ne fait que la mobiliser. Si donc on ajoute à la terre arable la matière que le plâtre doit rendre soluble, on produira un effet plus efficace encore que celui que détermine le gypse lui-même. M. Isidore Pierre a obtenu de l'emploi du sulfate de potasse ou du sulfate de soude des effets remarquables sur le sainfoin. Enfin quelques cultivateurs ont même essayé avec succès l'action de l'acide sulfurique qui produisait d'excellents effets

sur les récoltes des légumineuses; cet acide, bien entendu, était étendu d'une grande quantité d'eau.

§ V. — *De la décomposition des sulfates dans la terre arable.*

Quand on fait l'analyse des cendres des plantes plâtrées, on est frappé d'y rencontrer plus de chaux et de potasse que dans les cendres des plantes non plâtrées, mais on est frappé en même temps de trouver dans ces cendres une très-faible quantité d'acide sulfurique, et qui est loin de correspondre aux proportions d'alcalis que présentent les cendres. M. Boussingault a constaté le fait depuis longtemps et nos analyses le confirment complétement.

Nous avons trouvé, en effet, dans 100 grammes de cendres provenant des tiges d'un trèfle plâtré :

Chaux	20g68
Potasse	8.90
Acide sulfurique	5.76

et dans les racines :

Chaux	16.10
Potasse	3.90
Acide sulfurique	10.01

et il aurait fallu dans les cendres des tiges 38.4 d'acide sulfurique au lieu de 5.76, et dans les racines 43.9 d'acide sulfurique au lieu de 10.01 pour que les alcalis fussent à l'état de sulfates.

On avait conclu de ces différences considérables que le plâtre n'est pas absorbé en nature par les plantes, et on avait imaginé un pouvoir électif des racines choisissant les carbonates et excluant les sulfates. Il est facile de s'assurer que cette hypothèse est inexacte, et que les plantes peuvent absorber les sulfates aussi bien que les autres sels solubles avec lesquels elles sont mises en contact. On démontre cette absorption du sulfate de chaux en faisant végéter les plantes dans du sable pur ou dans du coton et en les arrosant avec une dissolution du sulfate de chaux qu'elles supportent parfaitement; les expériences ont porté sur du cresson alénois et sur des fèves; le cresson séché et brûlé a donné des cendres renfermant de l'acide sulfurique et

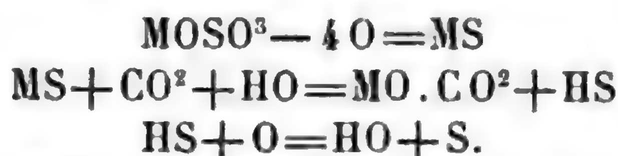
de la chaux; une fève développée dans du coton et qui pesait sèche 1g.460 a donné 0,095 de cendres renfermant 0,006 d'acide sulfurique et 0,004 de chaux, c'est-à-dire que ces deux corps se trouvaient dans le rapport de 40 à 28 qui est celui sous lequel s'unissent la chaux et l'acide sulfurique. Au reste, toutes les analyses de cendres démontrent dans les plantes la présence de petites quantités de sulfates, ainsi il est certain qu'ils peuvent pénétrer dans les végétaux; aussi notre théorie laisse-t-elle jusqu'à présent quelque chose à désirer; nous attribuons les bons effets du plâtrage à la transformation des carbonates en sulfates, et nous ne pouvons cependant affirmer que la chaux ou la potasse sont entrées dans les plantes à l'état de sulfate, puisque nous ne trouvons pas dans les cendres des végétaux qui se sont développées dans un sol plâtré ces sels eux-mêmes, mais seulement un de leurs éléments.

Nous avons cherché pendant bien longtemps la cause de l'absence de cet acide sulfurique : nous avions imaginé que la plante pouvant se comparer à un appareil d'endosmose devait être aussi un appareil d'exosmose, et que l'acide sulfurique entré sous forme de sulfate de potasse, de chaux ou d'ammoniaque dans les tissus, pouvait ensuite être éliminé et sortir par exosmose sous forme de sulfate de magnésie ou de soude par suite d'un échange de bases entre lui et l'acide carbonique; on fit alors un grand nombre d'essais pour saisir cette exosmose d'acide sulfurique; des plantes aquatiques ayant végété dans de l'eau chargée de sulfate de chaux furent transportées dans de l'eau distillée; du trèfle, du sainfoin, de la luzerne, développés dans un sol riche en plâtre furent repiqués dans un mélange de kaolin et de pierre ponce lavés avec grand soin : on ne put découvrir ni dans l'eau, ni dans le sol factice aucune trace d'acide sulfurique.

On imagina alors que le végétal réduisant les sulfates pouvait peut-être éliminer un composé gazeux de soufre, et des plantes furent placées sous des cloches dont l'air se renouvelait constamment en sortant au travers d'acide azotique contenu dans des boules de Liebig, on espérait que cet acide oxydant l'hydrogène sulfuré ou l'acide sulfureux les métamorphoserait en acide sulfurique facile à caractériser; l'expérience fut encore négative, et on finit par comprendre que si on ne retrouvait pas dans la

plante tout l'acide sulfurique qu'exigeaient la chaux et la potasse des cendres, c'est que cet acide ne pénétrait pas dans la plante par suite d'une décomposition plus ou moins complète des sulfates.

Suivons, en effet, les sulfates de potasse de chaux et d'ammoniaque descendant au travers des couches arables et voyons ce qui doit arriver ; ces sulfates vont se trouver au contact de matières carbonées, de matières organiques qui existent dans le sol arable jusqu'à une grande profondeur, comme l'a montré, il y a quelque temps, M. Isidore Pierre, et sous l'influence de ces matières organiques les sulfates vont être réduits et transformés en carbonates.



$$MOSO^3 - 4O = MS$$
$$MS + CO^2 + HO = MO.CO^2 + HS$$
$$HS + O = HO + S.$$

Ces décompositions successives sont faciles à suivre, et l'expérience prouve que l'acide sulfurique introduit dans la terre arable y disparaît rapidement.

Nous l'avons montré dès nos premières recherches. On avait mélangé du sulfate de chaux avec deux échantillons de terre de Russie riche en débris organiques et avec du terreau de maraichers ; on détermina l'acide sulfurique contenu dans les trois échantillons de 25 grammes au moment même où le mélange fut effectué, les trois échantillons furent lavés avec des quantités égales d'eau froide, on humecta pendant un mois les échantillons tenus en réserve, et on y rechercha alors de nouveau l'acide sulfurique.

Acide sulfurique dans l'échantillon de terre de Russie n° 1 au moment du plâtrage	0g,893
Acide sulfurique après un mois	0 ,793
Acide sulfurique disparu	0 ,100
Acide sulfurique dans l'échantillon n° 2 au moment du plâtrage.	0 ,861
Acide sulfurique après un mois.	0 ,806
Acide sulfurique disparu.	0 ,055
Acide sulfurique dans un mélange de plâtre et de terreau des maraichers au moment du plâtrage	1g,089
Acide sulfurique après un mois	0 ,762
Acide sulfurique disparu.	0 ,347

On a observé encore cette même réduction des sulfates en opérant d'une autre façon.

On a dosé dans une terre plâtrée depuis quelque temps la chaux et l'acide sulfurique; la terre normale ne renfermait pas sensiblement d'acide sulfurique, mais elle abandonnait à l'eau de la chaux en quantité assez notable, on trouvait dans 10g de terre 0g,030 de chaux qu'on a défalqué de celle que donnait la terre plâtrée.

On a ainsi trouvé dans 10g de terre qui avaient reçu un gramme de plâtre cuit :

Chaux	0,352
Acide sulfurique.	0,423
Acide sulfurique correspondant à la chaux. . .	0,481
Acide sulfurique disparu.	0,058

Et dans 10g de terre qui avaient reçu 1g de plâtre cru :

Chaux	0,262
Acide sulfurique.	0,343
Acide sulfurique correspond. à la chaux trouvée	0,374
Acide sulfurique disparu	0,031

Ainsi, nous pensons que dans les profondeurs du sol arable, sous les influences réductrices nombreuses qui s'y manifestent constamment, le sulfate de chaux, ainsi que celui de potasse ou d'ammoniaque peuvent être réduits et transformés en carbonates avec élimination de soufre. Au reste, nous avons à l'appui de cette opinion un grand nombre d'expériences; M. P. Thénard plâtre ses fumiers et y trouve du soufre cristallisé; dans les démolitions des vieilles constructions parisiennes, on rencontre encore des cristaux de soufre dus à l'action réductrice des eaux ménagères sur le gypse qui forme le sol parisien; les eaux qui descendent des collines d'Argenteuil s'infiltrent dans le sol, y rencontrent du plâtre, se réduisent et apparaissent chargées d'acide sulfhydrique et de sulfure, une lieue plus loin à Enghien; M. Boussingault place une lame d'argent dans une terre plâtrée et la voit noircir, etc.

Les bases, d'abord combinées à l'acide carbonique, amenées à l'état de sulfate par l'action du plâtre, ne persistent donc pas indéfiniment sous cette forme, et une nouvelle métamorphose peut

les ramener à leur état primitif. Après leur combinaison avec l'acide sulfurique, tous les faits précédents le démontrent, les alcalis quittent les couches superficielles, descendent plus profondément, se répartissent dans le sous-sol qu'elles n'atteindraient pas sous leur ancienne forme, et pénètrent dans les plantes sous forme de sulfates, quand elles atteignent les racines avant d'avoir subi une nouvelle transformation; aussi rencontre-t-on toujours dans les cendres des plantes plâtrées, quelques centièmes d'acide sulfurique; mais bientôt les sulfates sont réduits, décomposés, et des carbonates prennent de nouveau naissance, de sorte que le plâtre n'a servi qu'à mobiliser la potasse et l'ammoniaque, mais les laisse bientôt sous une forme semblable à celle qu'elles avaient d'abord, à une profondeur plus considérable, où les racines légumineuses peuvent les saisir plus aisément.

Nous avons insisté jusqu'à présent beaucoup plus sur l'action qu'exerce le plâtre sur la potasse et l'ammoniaque que sur l'influence utile qu'il peut avoir lui-même comme apportant au sol la chaux que les plantes réclament; et il est certain que la chaux filtrant plus facilement que la potasse et l'ammoniaque au travers de la terre arable doit moins faire défaut dans les couches profondes que les alcalis eux-mêmes; j'ai dû enfin appuyer sur l'action qu'exerce le plâtre sur la solubilité des bases, action complétement inconnue avant mes recherches. La décomposition du sulfate de chaux, sa transformation en carbonate très-divisé, très-soluble dans l'acide carbonique, avait au reste été indiquée déjà; elle démontre toutefois que le plâtre peut être utile aux plantes qui assimilent de la chaux comme à celles qui ont besoin de potasse et d'ammoniaque, et que la chaux doit se trouver aussi dans les cendres plâtrées en plus grande quantité que l'acide sulfurique.

§ VI. — *Le plâtre exerce-t-il sur les plantes elles-mêmes une action utile.*

Je ne me suis occupé jusqu'à présent que des effets du plâtre sur la terre arable, et je crois avoir étudié la question plus complétement qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent; toutefois on

pourrait m'accuser d'être trop absolu si je réduisais les effets utiles du plâtre à ceux qu'il exerce sur la terre. A-t-il une action sur les feuilles elles-mêmes sur lesquelles la pratique a reconnu utile de le semer? je l'ignore, mes recherches n'ont pas été dirigées de ce côté et j'aurais passé la question sous silence si quelques personnes ne soutenaient encore que le plâtre doit avoir pour but de fournir aux plantes le soufre que renferment quelques-uns de leurs principes immédiats [1]. Cette opinion n'est pas nouvelle, elle est indiquée dans la première édition de l'*Économie rurale* de M. Boussingault, qui date de 1844; elle y est aussi combattue par un fait très-simple, c'est que les plantes qui ne profitent en rien du plâtrage, telles que les céréales, renferment autant de soufre combiné que les plantes sur lesquelles le plâtre produit un excellent effet. Cette quantité de soufre est au reste tellement minime que les plantes la rencontrent facilement dans la faible proportion de sulfates que renferment les engrais ordinaires.

La question de l'action physiologique du plâtre reste donc entière, elle ne saurait être résolue d'un trait de plume, elle exige de longues études que personne n'a encore entreprises.

§ VII. — *Conclusions agricoles qui dérivent des précédentes recherches.*

Rien n'est plus téméraire que de vouloir conclure des essais de laboratoire à des pratiques agricoles, et l'expérience du cultivateur peut souvent infirmer les résultats auxquels l'analyse conduit le chimiste; toutefois il serait pusillanime de ne pas indiquer les expériences qui peuvent servir à démontrer la vérité de la théorie que je propose aujourd'hui, d'autant plus que si cette théorie est exacte, elle peut conduire à améliorer la culture d'un certain nombre de plantes utiles.

Si le plâtre diminue la faculté absorbante de l'argile pour la potasse et l'ammoniaque et fait pénétrer les alcalis dans les couches profondes,

1. Dans une discussion qui a eu lieu à la Société chimique le 10 février dernier, à la suite de la présentation de ce travail, cette opinion a été soutenue par M. S. Cloez.

Il doit :

1° Être utile surtout dans les terrains argileux dans lesquels ces propriétés absorbantes sont au maximum d'intensité, et produire moins d'effet sur les sols très-sablonneux où les engrais traversent une mince couche de terre sans s'y arrêter ;

2° Être utile aux plantes dont les racines, comme celles des légumineuses, s'enfoncent profondément ;

3° Enfin son effet sera particulièrement sensible sur les plantes qui paraissent absorber pendant leur végétation une quantité notable de chaux et de potasse.

Si les cultivateurs veulent bien soumettre ces conclusions tirées de l'étude des faits à l'épreuve décisive de l'expérimentation directe, il est possible qu'ils en tirent quelque avantage.

Ce travail a été exécuté au Conservatoire des Arts et métiers aux frais de S. E. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, dans l'ancien laboratoire de M. E. Baudement, dont la direction du Conservatoire m'a très-gracieusement conservé la jouissance.

Plusieurs de mes anciens élèves m'ont prêté pendant ce travail un concours dont je suis heureux de les remercier. M. Arnoul qui dirige aujourd'hui les travaux chimiques d'une usine importante aux environs de Paris ; M. G. Tissandier, sous-directeur du Laboratoire de l'Union nationale du commerce et de l'industrie ; M. H. Morin, répétiteur des sciences physiques à l'École de la Saulsaie, m'ont été particulièrement utiles.

DES LAMPES A GAZ
ET DES FOURNEAUX A GAZ
A L'USAGE DES LABORATOIRES DE CHIMIE,

Par le docteur BOEHM,
Chirurgien-major et préparateur de chimie à l'Académie impériale et royale de Joseph à Vienne.

(Traduit de l'allemand.)

Lorsque le gaz d'éclairage doit être employé comme source de chaleur, il est nécessaire que l'appareil servant à sa combustion, pour répondre à toutes les exigences (abstraction faite de la simplicité et des avantages de la construction), satisfasse particulièrement aux conditions suivantes, quand il est destiné à être employé dans les laboratoires de chimie, c'est-à-dire pour produire des ébullitions ou des calcinations :

1° Il faut qu'une quantité de gaz déterminée, s'écoulant sous une pression constante, et dont le maximum dépend naturellement de la disposition de l'appareil, arrive avec une vitesse convenable pour être brûlée complétement ;

2° Il faut en outre pouvoir arriver à ce résultat, soit en variant la pression, soit en changeant la proportion de gaz combustible, la pression restant constante.

Il semble que jusqu'ici, dans la construction des lampes de ce genre, on n'ait eu en vue que le premier point, car tous les appareils actuellement en usage sont parfaitement établis pour satisfaire à cette condition.

Mais il n'en est plus de même lorsqu'on examine de quelle manière est remplie la seconde condition, dont les circonstances exposées plus loin rendent cependant la réalisation si nécessaire. Alors on remarquera que la flamme est plus ou moins éclairante et fuligineuse, qu'en outre les petites lampes, du reste si avanta-

geuses, du professeur Bunsen, présentent cet inconvénient qu'en diminuant la flamme on risque de la faire passer au bec lui-même, ce qui arrive également dans d'autres circonstances.

En présence de ces faits, j'ai cru convenable de diriger mon attention sur ce sujet et de l'examiner à fond. Après avoir traité aussi succinctement que possible les questions relatives à cet appareil, je donnerai une description des lampes à gaz, me réservant de publier plus tard les résultats auxquels m'aura conduit tant l'examen du mélange gazeux produit par la combustion, que l'étude des diverses parties de ces flammes et des phases de leur combustion, et j'exposerai les conclusions pratiques qui en découlent à l'égard de la construction et de la disposition de ces appareils.

L'oxygène contenu dans l'air qui environne une colonne effluente de gaz d'éclairage n'est pas, comme on sait, suffisant pour brûler complétement ce gaz. Pour que cela ait lieu, il faut que l'oxygène nécessaire ou la quantité d'air qui le renferme afflue de quelque autre point. Dans le cas présent, il doit s'échapper en même temps que le gaz d'une ouverture commune[1].

Comme la quantité d'air nécessaire dépend de celle du gaz à consumer dans un certain temps, et que la quantité du gaz varie elle-même avec la pression qui existe aux divers instants dans les tubes conducteurs, il est tout d'abord indispensable de pouvoir régler l'arrivée de l'air. Cependant la chaleur à produire variant suivant les circonstances, et se trouvant dans un rapport déterminé avec la quantité du gaz à consumer, on devra aussi pouvoir régler l'écoulement du gaz. Le meilleur moyen pour y parvenir consiste à changer la section transversale de l'ouverture d'affluence, afin de ne pas causer inutilement une perte de vitesse.

En général le courant d'air est produit par l'entrée du gaz dans un cylindre ouvert par le haut et par le bas; de cette manière le courant de gaz fait entrer l'air par l'ouverture inférieure du cylindre, ainsi que cela arrive par l'action de la tuyère des

1. M. Baumhauer obtient le courant d'air nécessaire en insufflant celui-ci à l'intérieur et tout autour du gaz pendant son écoulement. Comme cet appareil n'agit pas spontanément, je me suis borné à le mentionner ici.

cheminées de locomotives. Le diamètre des cylindres que l'on emploie dépend de l'usage que l'on veut faire de ces lampes.

On prendra le cylindre large quand on aura besoin d'une flamme assez volumineuse dont l'intensité puisse varier depuis celle d'une simple lampe à esprit de vin jusqu'au delà de celle d'une lampe de Berzélius, sans qu'on ait à employer le maximum de la chaleur que d'ordinaire on peut obtenir au moyen d'une quantité égale de gaz. Dans cet appareil, propre à l'évaporation, à l'ébullition et aux calcinations modérées, le cylindre large est muni d'une toile métallique qu'il faut choisir assez espacée. Cette toile métallique a ici pour effet de rétrécir la section du cylindre, tandis qu'elle n'agit comme toile de sûreté que lorsque, par l'écoulement d'une très-petite quantité de gaz, le volume d'air nécessaire à la combustion se trouve déjà dans l'intérieur du tube.

On emploie un cylindre *étroit* avec une flamme plus concentrée quand on veut obtenir le plus haut degré de chaleur que peut fournir une quantité déterminée de gaz d'éclairage dans les circonstances données; alors on opère la combustion sans employer de toile métallique, méthode que le professeur Bunsen a été le premier à introduire. Bien que la lampe telle que je l'ai construite permette d'obtenir la combustion la plus complète et de réduire à volonté l'intensité de la flamme, de manière qu'elle ne soit pas plus forte qu'une simple flamme d'esprit de vin, cependant cet appareil est surtout propre aux calcinations; c'est pourquoi je le désignerai sous le nom de lampe de calcination. Il faut éviter que la hauteur de l'instrument ne soit ni trop grande ni trop faible; dans le premier cas il deviendrait incommode, dans le second il pourrait cesser de fonctionner par suite d'un trop grand échauffement du tuyau d'aspiration. C'est surtout dans cette méthode de consumer le gaz que se manifeste la nécessité de pouvoir régler l'arrivée du gaz et de l'air en changeant la dimension de leurs orifices respectifs d'affluence.

Avant de passer à la description des lampes mêmes, je ferai remarquer : 1° qu'il est nécessaire pour l'emploi des lampes à toile métallique (chez lesquelles le mélange gazeux brûle en se répandant sur une plus grande surface), que le gaz d'éclairage s'écoule avec une force d'expansion uniforme; 2° que dans les lampes de calcination (lampes sans toile métallique), le dégage-

ment doit se faire dans une direction verticale et dans les deux systèmes avec la plus grande vitesse possible. J'ai cherché à satisfaire complétement à ces conditions et en même temps à rendre facile le changement de la section de l'orifice de dégagement du gaz, en adoptant la disposition décrite ci-après qui rend superflu l'emploi du robinet dont on se sert d'ordinaire pour les lampes.

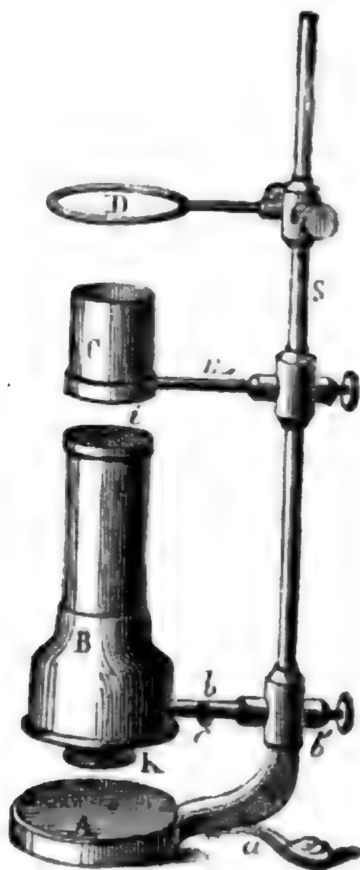


Fig. 1.

Lampe à toile métallique. — Un pied circulaire en fonte A (fig. 1), d'un diamètre de 11 cent., et muni d'une petite patte α, se termine par un appendice *a* qui se recourbe verticalement en arrière. De cet appendice s'élève une tige verticale en fer S à laquelle sont fixés, mais de manière à pouvoir être déplacés : 1° l'appareil de combustion B; 2° la cheminée C qui concentre la flamme et augmente un peu le courant d'air; 3° le curseur D, destiné à supporter les rondelles de chauffe, les triangles, etc. C'est par l'appendice *c*, ménagé latéralement dans le cylindre en laiton *b* et pourvu d'une série de filets que le gaz arrive, au moyen d'un tube en caoutchouc, dans le bec E (fig. 2) qui se trouve à l'extrémité du cylindre *b*. Ce bec est un cylindre de 4 cent. de hauteur et de 18 millim. de diamètre, hermétiquement fermé

par le bas, dont les deux tiers de la partie supérieure sont travaillés de telle sorte qu'à l'intérieur il y a un espace vide dans lequel s'engage le pas de vis du cylindre *b*, et dont le milieu est occupé par une petite colonne *d* adhérente au fond du cylindre[1]. Cette colonne, aussi bien que le fond du cylindre, sont percés et portent à leur intérieur un pas de vis. Dans cette ouverture s'engage la vis *f*, qui porte à son extrémité inférieure une tête *k* de 45 millim. de diamètre, et à sa partie supérieure un cône renversé *g* de 60° d'ouverture. Ce cône est assez haut pour que la circonférence de sa base puisse fermer l'ouverture (chanfreinée dans le même sens) du cylindre E, dont le diamètre est de 10 millim. Près de *z* se trouve un chapeau destiné à prévenir toute fuite de gaz dans le cas où la vis viendrait à s'user au point que sa fermeture ne fût plus hermétique (du reste cet inconvénient n'est pas à redouter si la construction est soignée); il suffirait alors de serrer contre ce chapeau la rondelle de cuir λ au moyen de la vis σ.

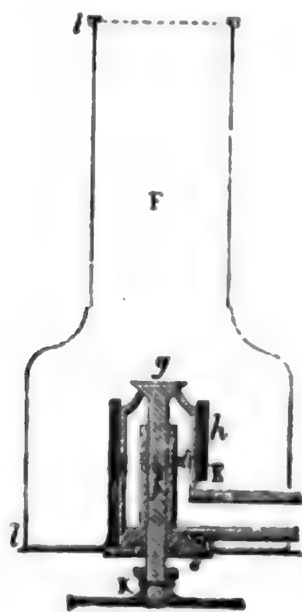


Fig. 2.


Fig. 3.

Le tuyau d'aspiration F peut être ajusté sur le bec E au moyen de la douille *h*. Ce tuyau est un cylindre de 38 millim. de diamètre et de 13 cent. de hauteur, s'élargissant considérablement vers sa base. Il est muni à sa partie supérieure d'une toile métallique, d'environ 160 à 170 mailles au centimètre carré, sup-

1. Il est plus simple de visser dans le cylindre même le fond avec la petite colonne *d* qu'il porte.

portée par le cercle *i*, et pourvu à sa base d'un fond portant la douille *h* et ayant les ouvertures nécessaires pour l'accès de l'air. Le disque *l* peut être déplacé par son rebord et tourné autour de l'appendice de la douille *h*, tenue et conduite par les petites vis *kk* (fig. 3). Ce disque présente des ouvertures correspondantes avec celles du fond du cylindre et permet de modifier les sections transversales libres de la douille. Il y a avantage à employer comme cheminée un cylindre creux en biscuit (terre à porcelaine) qu'on maintient sur le support *m* à l'aide du bras en laiton qui se trouve à sa base. Ce support peut se déplacer sur la tige S.

La manière d'employer cette lampe ressort de sa construction même. Au moyen de la vis *f* on peut diminuer graduellement la flamme. On reconnaît à l'aspect de la flamme, qui doit avoir le caractère d'une combustion complète, quelle est l'ouverture la plus convenable pour qu'il se produise une bonne combustion. Le disque *l* qui sert à régler l'arrivée de l'air ne sera employé que lorsque l'on trouvera que le courant d'air trop rapide produit une combustion irrégulière et une flamme vacillante, surtout dans son cône lumineux intérieur.

On verra par ce qui suit que la lampe de calcination dont nous allons nous occuper peut également être revêtue d'une toile métallique et rendre les mêmes services qu'une lampe à toile proprement dite, avec une plus petite surface de combustion. Néanmoins j'ai décrit ci-dessus la lampe à toile parce que l'on peut s'en servir avantageusement dans les laboratoires, et qu'elle présente le modèle de construction des fourneaux à gaz, invention aussi utile que commode.



Fig. 4.

Lampe de calcination (fig. 4). — Le cylindre creux *b* qui porte le bec E et l'appendice conique *c*, destiné à recevoir le tuyau de conduite, est fixé à demeure par une vis latérale à l'appendice *a* de la base A. Un petit cylindre *b'* situé de l'autre côté de

l'appendice latéral est muni d'un pas de vis dans lequel on peut serrer la tige S. Le bec de cette lampe (fig. 4) ressemble au précédent en ce que sa partie cylindrique est disposée de la même manière. Cependant l'ouverture supérieure du cylindre est fermée par un couvercle vissé E, dont l'intérieur évidé en forme de cône, présente en son milieu une petite ouverture de 2 millim. de diamètre. La vis *f* passant également par le cylindre muni du chapeau *z* porte un très-petit cône dont le sommet est dirigé en haut et qui, lorsqu'on l'élève, peut diminuer graduellement ou fermer complétement la section transversale de l'ouverture. Le cône et le pas de la vis, qui doit avoir un filet profond comme celui du bec précédent, doivent être dans un certain rapport avec l'ouverture d'émission, de manière qu'une demi-révolution ou tout au plus une révolution de la tête de vis *k*, de 45 millim. de diamètre, suffise pour fermer l'ouverture libre, car autrement l'interruption du gaz durerait trop longtemps et au dernier moment de fermeture la flamme pourrait pénétrer à travers le tuyau dans le bec[1]. Le tuyau d'aspiration I consiste en un tube cylindrique, lisse intérieurement, long de 16 centim. et d'un diamètre de 15 millim., réuni à un autre tube, long d'un centimètre, large de 3 cent. et fermé à sa base. Le cercle *l* qui effectue la fermeture présente un bord saillant qui dépasse la circonférence inférieure du tuyau d'aspiration et porte la douille *h*, laquelle sert à fixer le tuyau d'aspiration sur le bec. A cet effet, le cercle a une échancrure correspondante à la section des parties pleines de la base. Sur le pourtour inférieur du tuyau d'aspiration sont pratiquées des ouvertures par lesquelles l'air trouve accès dans l'intérieur. Par-dessus cette portion du tuyau d'aspiration se trouve un anneau R que l'on peut tourner et qui porte un rebord saillant. Cet anneau présente des ouvertures correspondantes avec celles du tuyau d'aspiration, de sorte que les premières peuvent être rétrécies à volonté. Le rebord du fond *l*

1. La construction des lampes et fourneaux ici décrits ne présente pas de difficultés particulières, mais demande, surtout quant au bec, de grands soins. Je crois donc à propos de dire que les lampes originales ont été fabriquées par M. Leopolder fils, mécanicien à Vienne. Une lampe complète à toile métallique coûte 11 florins (environ 24 fr.). Une lampe de calcination avec son tuyau d'aspiration et sa coiffe en toile métallique se vend au même prix.

s'oppose à la descente du régulateur d'aspiration[1]. La cheminée, qui ne diffère de celle décrite précédemment que par ses dimensions, peut également être déplacée le long de la tige S; elle est principalement destinée à protéger la flamme contre les courants d'air perturbateurs, et à l'occasion à servir de fournaise[2].

Dans une douille mobile est fixée une rondelle de chauffe D en laiton susceptible d'être déplacée. Cette rondelle a un diamètre de 85 millim. en sorte qu'elle peut supporter sans danger des vases encore plus grands, ou servir d'appui à un triangle en platine pour opérer des calcinations dans de petits creusets. Cette lampe de calcination, dont on peut enlever la tige S, pour l'utiliser de différentes manières, est pourvue encore d'un autre tuyau d'aspiration n° II de 85 millim. de hauteur et d'à peu près 12 millim. de largeur à son ouverture, construit du reste comme le grand tuyau d'aspiration n° I. Sur le tuyau d'aspiration n° II, s'ajuste exactement une coiffe munie d'une toile métallique et dont le diamètre supérieur est de 30 millim. Cette coiffe une fois mise sur le tuyau d'aspiration, la lampe peut immédiatement servir de lampe à toile métallique et donne d'aussi bons résultats. La lampe de calcination munie de cette même coiffe peut servir également à des usages variés, non-seulement parce que la flamme qu'on obtient par la combustion du mélange gazeux sur une toile métallique vaut souvent mieux que celle fournie par une lampe de calcination proprement dite, mais aussi parce qu'il est possible, grâce à la coiffe B, de brûler des quantités de gaz plus petites encore que celles qu'exige la plus faible flamme dans la lampe de calcination (avec le tuyau d'aspiration n° II). Nous avons déjà remarqué au commencement de cette note que la quantité d'air introduite avec le gaz dans le tuyau et l'air qui peut arriver du dehors, doivent suffire pour la combustion du mélange gazeux. Si la quantité d'air nécessaire est déjà mêlée au gaz d'éclairage dans le tuyau d'aspiration, il en ré-

1. La cheminée des lampes à toile métallique est quelquefois assujettie au tuyau d'aspiration lui-même. Mais il faut éviter cette disposition dans les lampes de calcination, car elle aurait pour effet d'échauffer outre mesure le tuyau d'aspiration.

2. On peut encore fixer l'anneau R sur la plaque du fond *l* qui porte la douille *h*; dans ce cas, pour régler le passage de l'air, on tourne le tuyau d'aspiration ouvert par le bas.

sulte une explosion, en même temps que la flamme pénètre jusqu'au bec et y brûle comme une simple flamme de gaz d'éclairage. Le même effet se produirait, si l'on essayait de brûler une quantité de gaz plus petite que ne l'admettent les dimensions du tuyau d'aspiration; l'air renfermé dans le tuyau suffirait alors pour former avec la petite quantité de gaz le composé détonant. Si l'on voulait cependant brûler de plus petites quantités de gaz d'après le principe de la lampe de calcination, on devrait donner des dimensions moindres au petit tube d'aspiration, ce qui d'ailleurs n'est pas à conseiller pour plusieurs motifs. En mettant la coiffe de toile métallique, on obtient le même résultat d'une autre manière, sans être forcé de changer les dimensions du tuyau d'aspiration.

Comme ce composé détonant se forme toutes les fois qu'une quantité d'air plus grande que celle indiquée plus haut pénètre dans le tuyau d'aspiration, il en résulte comme règle générale : 1° que si l'on veut diminuer la flamme, on doit déplacer convenablement l'anneau R qui règle l'accès de l'air, avant de rétrécir par la vis l'ouverture de dégagement du gaz ; 2° que lorsqu'on allume la lampe, il faut agrandir autant que possible l'ouverture en tournant cette même vis.

La coiffe en toile métallique permet d'employer avec sécurité une plus petite flamme, lorsque cela est nécessaire pour certaines opérations qui n'exigent pas une attention continuelle de la part du chimiste. Supposons 1° que la vis *f* et l'anneau R soient placés de telle sorte que la flamme soit aussi faible qu'on peut l'obtenir au moyen du petit tuyau aspirant n° II ; 2° que la pression sous laquelle le gaz s'échappe soit égale, par exemple, à une colonne d'eau de 2 pouces anglais (5 cent., le pouce anglais = $0^{m},025$) ; 3° que soudainement la pression tombe d'une manière considérable et ne corresponde plus qu'à une colonne d'eau de 1 pouce anglais (2 cent. 5).

Il s'ensuivra que dans le même temps, il s'écoulera une plus petite quantité de gaz, et que précisément dans ces conditions, le mélange détonant étant formé, il y aura transport de la flamme. Si dans le cas dont nous venons de parler on applique la coiffe métallique, il n'y a pas transport de la flamme, résultat auquel on ne pourrait arriver sans l'emploi de ladite coiffe, qu'aux dépens de la combustion qui serait incomplète.

Si l'on renonce à supprimer la tige S, il convient, pour différents motifs, d'y ajuster le bec de manière qu'on puisse le déplacer à volonté. Dans le cas où l'on veut se servir de la lampe en employant exclusivement d'autres supports, on peut enlever la tige S et l'appendice qui la porte, et raccourcir considérablement le cylindre b^1.

Avec la lampe de calcination dont nous avons donné la description, on peut produire une très-vive chaleur, dont le degré dépend essentiellement de la pression sous laquelle arrive le gaz.

Dans les circonstances ordinaires où la pression à l'ouverture d'émission correspond à une colonne de 1 1/2 à 2 pouces de hauteur (37 à 50 millim.), on peut facilement décomposer des silicates au moyen des carbonates de potasse et de soude. Dans une expérience où le gaz se dégageait sous la pression d'une colonne d'eau de 3 3/4 pouces de hauteur (95 millim.), 4 grammes d'argent chimiquement pur furent fondus en peu de temps dans un petit creuset placé dans la cheminée servant de fournaise. Cette fusion eut lieu avec une rapidité extrême lorsque j'employai une colonne d'eau de 36 pouces (90 centim.).

La lampe à toile métallique décrite plus haut et construite dans des dimensions un peu plus grandes[2] peut servir à chauffer de plus grandes capsules, des bains d'eau, d'huile, de métal, etc., placée sur un support convenable elle constitue l'appareil que l'on nomme :

Fourneau-lampe à gaz. — Voici la description du support dont je me suis servi. Sur le trépied en fer A (fig. 5) s'élèvent trois tiges de métal, longues de 35 centim. et reliées l'une à l'autre au moyen de l'anneau B. Cet anneau porte dans le voisinage de chacune de ces tiges *a* une douille *b* dans laquelle une tige S, longue de 25 cent. et convenablement recourbée à son extrémité, peut se mouvoir ou être fixée par la vis *c*. Une des tiges supports *a* porte la lampe à toile métallique C et une autre

1. M. Léopolder livre cette lampe ainsi modifiée à raison de 7 florins (environ 15 fr. 50).

2. Dans les lampes à toile métallique comme dans celles de calcination, les dimensions des diverses parties de l'appareil de combustion sont dans un rapport déterminé.

la cheminée mobile qui peut être fixée au moyen de la vis *d*. Grâce à cette disposition du support du fourneau, il est possible d'en faire varier la hauteur dans des limites déterminées, et, en tournant les tiges S dans un certain sens, de changer les dimensions de l'ouverture formée par l'écartement des extrémités *s* des tiges S. On peut donc y introduire des creusets et autres objets de divers diamètres jusqu'à la profondeur voulue et sans avoir recours à des triangles de différentes dimensions. La mobilité du bec qui d'ailleurs n'est pas de grande utilité dans ces fourneaux, permet d'employer et de régler parfaitement la flamme et la chaleur produite, et aussi d'arranger comme on veut les objets à chauffer.

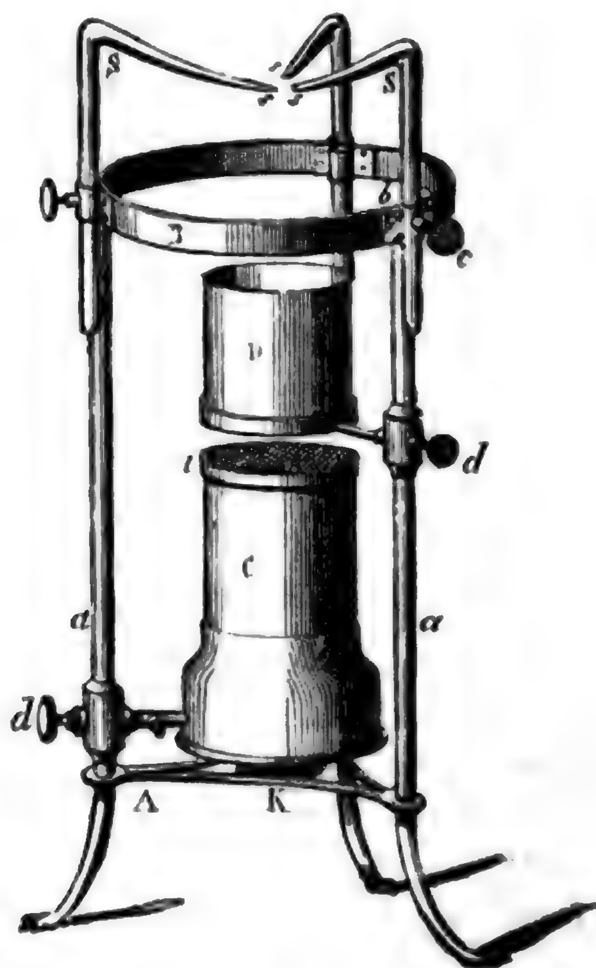


Fig. 5.

Un système de dix-huit lampes de calcination groupées autour d'une lampe centrale, pouvant être mis en activité complétement ou en partie (les becs intérieurs), pourvu en même temps d'un manteau qui sert à la fois de fournaise et de support, et sur lequel on peut placer en cas de besoin un dôme, constitue un

fourneau d'ignition remplaçant avantageusement le fourneau à vent.

Trente lampes du même genre légèrement modifiées, alignées côte à côte et groupées dans une disposition convenable, forment un *fourneau de combustion propre à l'analyse élémentaire*.

Je me borne pour cette fois à indiquer le principe d'après lequel ces fourneaux doivent être construits. Je publierai les détails de la construction, dès qu'une plus longue expérience aura prouvé leur utilité et établi, quant au fourneau de combustion, les avantages de ce système par rapport à un fourneau de même genre, bien construit et composé de lampes à toiles métalliques.

BIBLIOGRAPHIE.

TRAITÉ COMPLET DE LA FILATURE DE COTON

PAR M. ALCAN,

Professeur au Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Ce livre important ne pouvait paraître à un moment plus opportun. La crise cotonnière en forçant les industriels à étudier les nouvelles provenances et les nouvelles matières; le mouvement général des esprits qui produit de nouvelles aspirations vers une étude plus rationnelle des procédés de fabrication; le besoin, plus impérieux que jamais, de soutenir la concurrence étrangère avec avantage, lui donnent en ce moment un caractère d'utilité pratique qui sera plus vivement senti qu'à une autre époque. Aussi l'auteur a-t-il envisagé avec soin ces trois aspects principaux de la question, et s'est-il particulièrement attaché à remplir son ouvrage de considérations générales qui lui donnent une valeur toute particulière.

Le nombre des ouvrages spéciaux à la filature du coton est très-restreint, et il appartenait certainement à l'auteur de l'*Essai sur les arts textiles*, publié en 1847, de nous donner aujourd'hui un *Traité didactique*, dans lequel les industriels et les ingénieurs pussent se renseigner sur la valeur comparative des différents procédés et les conditions de leur réalisation.

L'Essai sur les arts textiles a décidé de la carrière de notre collègue; cet essai était une réussite complète, et lorsque nous comparons la modestie exagérée de ce titre à la rédaction un peu ambitieuse de celui du nouveau traité, nous nous deman-

dions si un ouvrage pouvait être assez complet pour supporter, sans en être affaibli, la désignation à laquelle l'auteur s'est arrêté pour son *Traité complet de la filature du coton.*

A tout prendre, le titre est exact puisque l'ouvrage passe religieusement en revue les propriétés de la matière et les diverses opérations qui conduisent à la fabrication du fil entièrement achevé; il est exact surtout si l'on rapproche cet ouvrage de ce qui existait avant lui.

Le *Traité* de Maiseau (1820); l'*Atlas* de Le Blanc; le livre d'Oger, qui est surtout une œuvre de contre-maître; enfin le Manuel de Jullien et Lorentz, voilà, à fort peu près, tout ce qui pouvait être consulté, avec quelque fruit, par les industriels qui auraient voulu acquérir quelques connaissances techniques sur leur art; mais ces connaissances, incomplètes et surannées, comme elles dénotent le grand mouvement qui s'est produit en ces vingt dernières années dans cette industrie si importante de la filature!

L'ouvrage de M. Alcan est divisé en deux parties bien distinctes; cette division très-rationnelle est celle que l'auteur se propose de suivre dans les divers traités qu'il a l'intention de publier bientôt sur les manipulations des diverses matières textiles.

La première partie est plus spécialement consacrée à l'étude de la matière en elle-même, à l'examen raisonné des opérations auxquelles sa nature se prête le mieux, aux données historiques, relatives au développement de la filature de coton, et aux opérations successives qu'elle a mises en jeu.

La deuxième partie est une étude comparée des machines et des moyens de réaliser les diverses transformations qui sont le but de la filature, et elle se termine par un véritable traité dans lequel les ingénieurs trouveront la plupart des éléments dont ils ont besoin pour faire le projet d'une usine et pour en réaliser l'exécution.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans les développements qu'il a donnés aux deux divisions principales de son livre, mais nous dirons quelques mots des chapitres qui nous ont plus particulièrement intéressé, dans la lecture que nous en avons faite. C'est surtout dans la première partie que nous trouverons des visées générales d'un grand intérêt.

Le premier chapitre nous conduit des premières données historiques sur la fleur et le duvet du coton, à la fabrication à la main, très-considérable dans l'Inde au commencement du dix-huitième siècle. La toile de coton, citée d'abord comme un objet rare, qu'on léguait spécialement par testament, presque chassée comme contraire aux intérêts d'industries plus privilégiées en Chine, en France et en Angleterre, est devenue pour l'Inde l'objet d'une exportation importante. A ce sujet M. Alcan reproduit une lettre vraiment curieuse du père Turpin, qui montre comment, pour dévider le fil, le manœuvre courait autour d'une claie, dont les pieux étaient destinés à recevoir le filament. C'est là un exemple vraiment frappant du rôle providentiel des machines dans l'industrie : on voit tout ce que l'humanité a gagné, quand on songe que cette course inutile et qui serait aujourd'hui impossible, est simplement remplacée par un outil qui tourne incessamment sur lui-même sans se fatiguer. Les apprêts des cotons de l'Inde étaient alors puisés dans la bouze de vache et la colle de riz.

Dans le deuxième chapitre, les caractères botaniques des divers cotons sont comparés à leurs caractères commerciaux, et l'auteur insiste sur la moins-value qui peut résulter des premières préparations lorsqu'elles sont mal exécutées. Malheureusement. les cotons les plus recherchés, sous le rapport de la longueur et de la finesse des filaments, appartiennent en général à des espèces pour lesquelles les graines sont adhérentes, et dont, par cette raison, l'égrenage est difficile.

C'est à cause de l'importance de cette opération préparatoire, en quelque sorte du domaine agricole, que le troisième chapitre est presque entièrement consacré à l'égrenage. Le roller-gin primitif est comparé au saw-gin, qui a fait pour la fortune de l'Amérique plus que la machine à vapeur n'a fait pour le développement de l'industrie dans les pays plus avancés dans la civilisation. Mais ce saw-gin était brutal dans son action, et s'il convient aux cotons à fibres courtes, il était nécessaire de le remplacer par des roller-gin perfectionnés, tels que ceux de Platt et de Durand, dont le fonctionnement est indiqué avec le soin convenable.

A la suite de nos expériences sur la machine à égrener de M. Durand, dont les lecteurs des *Annales* ont dû prendre con-

naissance dans le n° 14 de ce recueil, nous avons fait fonctionner un vieux modèle de saw-gin appartenant au Conservatoire. Les chiffres comparatifs sont les suivants :

	Saw-Gin.	Machine Durand.
Coton préparé par heure..........	$6^{k}.78$	$2^{k}.50$
Travail correspondant par 1″.......	$6^{km}.25$	$31^{km}.68$
Coton préparé avec le même travail..	13.79	1.00

Le saw-gin est donc de beaucoup la machine la plus expéditive, et elle était aussi bien appropriée au travail des cotons communs d'Amérique, que l'est la machine nouvelle pour les cotons d'une qualité et d'un prix élevés.

C'est en se plaçant encore au point de vue de la production du coton, que M. Alcan consacre, dans le chapitre suivant, quelques pages à l'utilisation de la graine du cotonnier, qui, comme l'on sait, peut fournir un poids d'huile au moins triple de celui des filaments eux-mêmes. Lorsqu'on sera parvenu à tirer un parti général de cette huile, le prix de revient du duvet sera nécessairement réduit d'une manière notable.

Le chapitre V et les suivants conduisent le lecteur à l'étude microscopique des propriétés des filaments, et cette étude fait parfaitement ressortir les propriétés en quelque sorte fondamentales, de toutes les fibres qui doivent, après juxtaposition et torsion, pouvoir se grouper de manière à former un fil continu, flexible, élastique et résistant. C'est dans ces pages, surtout, qu'il trouvera des indications intéressantes. Il y verra comment la forme tubulaire des fibres, dont la longueur varie de 40 à 50 millimètres, et dont le diamètre se mesure par 1/30e ou 1/150e de diamètre, se prête aux conditions indispensables de ténacité et de flexibilité. Il reconnaîtra que les cotons les plus recherchés sont les plus fins et les plus longs, mais surtout les plus réguliers et les plus élastiques. Le tableau qui contient le résultat des nombreuses analyses microscopiques, auxquelles M. Alcan a dû dépenser un temps considérable, conduit sous ce rapport à une discussion d'autant plus intéressante, que l'étude dynamométrique, qu'il a faite avec son appareil spécial sur les fils fabriqués, permet de suivre le degré d'importance de chacune des propriétés de la matière jusque dans le produit industriel terminé.

Cette étude individuelle du coton permet de comparer cette matière textile, que l'on pourrait appeler la matière textile par excellence, aux autres substances filamenteuses. Des coupes longitudinales et transversales, rendues avec une étonnante vérité, font voir dès le premier examen pourquoi et comment les autres matières ne peuvent se filer au même prix ; la finesse, la flexibilité, la ténacité, et jusqu'à la longueur des brins, tout se réunit pour donner à la fibre du coton, du *king-cotton*, comme M. Alcan l'appelle dans sa préface, une supériorité évidente, comme matière première à transformer par l'industrie.

La nature lui a donné des qualités exceptionnelles, et les matières filamenteuses que l'on vante chaque jour s'en distinguent le plus souvent soit par une moindre régularité, soit surtout par une flexibilité moins grande qui fait que les brins se plient au lieu de se courber.

Cette indication nous conduit à nous occuper de suite du chapitre XIV, intitulé : *Succédanés du coton*. Les duvets qui accompagnent les fleurs de certaines plantes, l'extraction par les procédés chimiques et mécaniques de la cellulose des tiges herbacées et même de certaines tiges ligneuses, des moyens analogues appliqués sous le nom de procédés de cotonisation aux matières filamenteuses analogues au chanvre et au lin, la recherche de filaments analogues dans d'autres végétaux, la récolte de certaines soies sauvages, telles sont les diverses tendances des inventeurs pour venir en aide à la disette actuelle des cotons. M. Alcan examine ces diverses sources d'alimentation pour notre fabrication des tissus ; il reproche aux organes floraux de ne présenter nulle part les qualités qui distinguent le véritable coton, et leur manque de souplesse ; il objecte aux procédés de cotonisation de ne fournir qu'une matière inégale et peu résistante, ne pouvant réaliser à la filature les promesses que fait naître la matière lisse et blanche, à laquelle on arrive facilement de cette façon ; il se félicite de ce que des matières analogues au lin et au chanvre, aient réussi à prendre, pour certains usages moins délicats, la place qui leur convient dans l'industrie, et aient ainsi augmenté le nombre trop restreint de nos textiles communs ; il attend, pour fonder quelque espérance sur les produits filés par certaines chenilles, qu'il soit démontré que ces soies communes pourront être obtenues et récoltées à

un prix comparable à celui du coton; et il arrive enfin à cette conséquence, que nous partageons volontiers avec lui, que le plus sûr substitut du coton des États-Unis se réalisera par l'accroissement de la culture du cotonnier dans les autres contrées. L'ancienne pourvoyeuse cherche, sous l'impulsion que lui imprime le génie de l'Angleterre, à reprendre ses droits; l'Égypte arrive à des résultats remarquables, et maintenant que l'esclavage est frappé au cœur, les prix de revient de nos cotons d'Afrique ne seront peut-être plus assez disproportionnés pour que l'Algérie ne puisse compter parmi les grands producteurs de coton.

Nous ne saurions initier, par ce sommaire, nos lecteurs aux chapitres dans lesquels l'auteur traite plus spécialement des choix et de l'assortiment des cotons, de la statistique, d'ailleurs si bien faite, de l'industrie du coton dans le monde entier, des tarifs de douane qui règlent l'exportation et l'importation du précieux duvet; mais, avant de terminer ce qui est relatif à la première partie de son livre, il nous est impossible de ne pas donner une attention spéciale au chapitre intitulé *Progrès techniques*, car il contient en abrégé toute l'histoire de la filature du coton.

Cette revue des progrès techniques est partagée par M. Alcan en deux périodes bien inégales, séparées par l'Exposition universelle de 1862. L'une des industries les plus anciennes, celle de la filature, n'était, il y a cent ans, basée que sur des opérations manuelles. Les machines n'y ont été introduites que successivement, et, à en juger par l'exposé de M. Alcan, elles étaient encore bien rares, à la fin du dernier siècle, dans notre pays. L'Angleterre, qui était bien plus avancée que nous par l'importance de sa production, n'avait pas encore donné l'exemple de cette liberté commerciale qui ne devait être accomplie qu'à la suite des expositions. Un seul des noms cités par M. Alcan nous permettra d'indiquer ce qu'étaient les procédés internationaux à cette époque, car si nous en croyons une brochure fort intéressante que nous avons sous les yeux, Bauwens, le fondateur de la première filature mécanique dite des Bons-hommes, à Chaillot, aurait été condamné et pendu en effigie, pour avoir expédié d'Angleterre quelques métiers à filer destinés à son établissement. Prévenu de la saisie de ses caisses à Gravesend,

il fut assez heureux pour atteindre la Hollande, et échappa ainsi à la peine capitale. Après avoir acquis dans le développement de son établissement une grande fortune, Bauwens, comme la plupart des initiateurs, est mort pauvre; il a été complétement ruiné par les événements politiques qui se sont succédé à cette époque.

Dès l'an VI, on voit figurer à la première Exposition de l'industrie, ouverte au Champ-de-Mars, les produits de la filature de coton établie à Lépine, près Arpajon, par M. Delaitre, qui plus tard fut préfet d'Eure-et-Loire. Le rapport de l'Exposition de l'an IX constate que dans cette filature, qui produisait déjà des cotons filés pour bonneterie, jusqu'au n° 160, cent jeunes filles des hospices de Paris étaient élevées et formées au travail. M. le général Morin, directeur du Conservatoire, se rappelle avoir visité cette école *professionnelle*, ainsi que le bel établissement auquel elle était annexée.

Les renseignements donnés par M. Alcan sur l'établissement de Lépine et sur l'antériorité des droits de Bauwens, concordaient avec nos propres informations, mais nous avions été fort étonné de ne trouver nulle part, dans cet historique des premiers pas de la filature française, le nom presque légendaire de Richard Lenoir, que l'on vient de donner à l'une des principales promenades de la capitale.

L'auteur, auquel nous reprochions cet oubli, nous répondit qu'il avait dû rester muet sur ce point, parce qu'il n'avait pu mettre la main sur aucun document officiel relatif à ce grand industriel. Cette réserve devait nous donner une nouvelle preuve du soin avec lequel notre collègue a procédé.

Pour éclaircir ce point de l'histoire de notre industrie, nous avons eu la bonne pensée de recourir à la mémoire, toujours fidèle, de M. Eugène Pihet, qui a rendu, comme nous le dirons dans un instant, tant de services à la filature française. Les renseignements qu'il nous a fournis nous ont mis sur la voie du petit roman que nos lecteurs voudront bien nous permettre de leur raconter.

Richard Lenoir n'a jamais existé, et l'on a trop longtemps confondu l'industriel avec la manufacture. Richard Lenoir n'a jamais été décoré par l'Empereur, et cette distinction n'a été accordée, pour l'introduction de la filature de coton, qu'au malheureux

Bauwens, dont nous avons rappelé tout à l'heure l'histoire si digne d'intérêt.

La filature de Bon-Secours, sous la raison sociale Richard et Lenoir-Dufresne, a suivi de bien près celle de Bauwens, seulement la plupart de ses machines étaient de construction française. On ne se bornait pas, dans cet établissement à filer et à tisser le coton; on y construisait les machines de toutes pièces, en en confiant l'exécution plutôt à des menuisiers et des serruriers qu'à de véritables mécaniciens.

Les bâtis entièrement en bois recevaient les diverses pièces accessoires, qui y étaient fixées tant bien que mal, et que l'on faisait quelquefois exécuter au dehors, lorsqu'elles demandaient un peu plus de soin ou un peu plus de précision que n'en comporte ce mode général d'exécution.

L'assortiment se composait de la carde en bois, de l'étirage, de la *lanterne* de tordage, du métier en gros et du métier en fin. C'est au sujet de l'exécution de certaines pièces de détail que M. Eugène Pihet, alors âgé de 15 ans (1802) et déjà ouvrier chez le mécanicien Bouché, fut mis par son patron en relations journalières avec Lenoir, qui était le véritable industriel de l'association, et qui seul s'occupait des détails techniques de la fabrication et des machines.

L'établissement prit entre ses mains des proportions énormes. Nous lisons dans les rapports du jury[1] de l'an IX : « Richard

1. Nous devons nécessairement accompagner ces citations de celles qui sont relatives à Bauwens.

« An IX. Bauwens, fabricant à Passy. Ce citoyen a présenté des cotons filés au Mul-jennie, depuis les plus bas numéros jusqu'au 250, des basins, des piqués, des mousselinettes et autres étoffes de coton. Le jury a remarqué dans tous ces produits une grande perfection; les basins, les piqués et mousselinettes lui ont paru capables de rivaliser avec ce que l'industrie des autres peuples offre de plus beau en ce genre. Le jury a accordé au citoyen Bauwens une médaille d'or. »

« An X. Bauwens frères, de Gand. Au dernier concours, le jury décerna à ces fabricants une médaille d'or; les basins et les piqués qu'ils présentèrent à cette époque furent trouvés très-beaux; ceux qu'ils envoient aujourd'hui sont d'un travail plus parfait. Indépendamment du mérite de la fabrication, ils sont remarquables par celui de l'apprêt, qualité sous le rapport de laquelle les piqués de France étaient en général inférieurs aux piqués étrangers. »

Bauwens a été décoré le 9 mai 1810 par décret impérial, daté de Bruges.

et Noir-Dufrêne, manufacturiers à Alençon et à Paris, faubourg Saint-Antoine, rue Charonne; pour avoir présenté des cotons fort bien filés au Mul-jennie, et des basins, des piqués et des mousselinettes parfaitement fabriqués (médaille d'argent). »

« L'année suivante, le jury rappelle cette médaille et il ajoute : Depuis, leur manufacture a fait de grands progrès; leurs basins sont de la première beauté; leurs piqués sont bien fabriqués: ils filent eux-mêmes tous les cotons nécessaires à leurs travaux; leur établissement est fort étendu et occupe un nombre considérable d'ouvriers; le jury les juge dignes d'une médaille d'or. »

Enfin, le jury de 1806 nous fait connaître la modification survenue dans la direction de l'établissement en citant M. Richard, rue de Charonne, n° 95, à Paris, propriétaire de filatures et de fabriques d'étoffes de coton à Paris, à Saint-Quentin, à Alençon et à Séez. « Ce fabricant, alors associé avec Noir-Dufrêne, obtint en l'an IX une médaille d'argent, et en l'an X une médaille d'or pour ses basins et ses piqués; il a présenté à l'Exposition de 1806 des tissus de coton de toute espèce. Le jury se plaît à déclarer qu'il a trouvé ces étoffes très-belles, que les piqués et les basins lui ont surtout paru de la première beauté, et qu'il aurait considéré comme un devoir de décerner à ce fabricant une médaille d'or s'il ne l'avait pas déjà obtenue pour le même objet. »

Nous avons reproduit l'orthographe des noms, et il était dès lors difficile de trouver dans ce Noir-Dufrêne le véritable Lenoir des premiers ouvriers de la filature de Bon-Secours.

Lenoir est mort en 1806, dans toute la splendeur de sa fortune et de sa popularité. Son mausolée, en marbre, existe encore au cimetière du Père-Lachaise; il est surmonté d'un monument quadrangulaire sur les faces duquel nous avons relevé ces jours derniers les inscriptions suivantes, qui intéressent particulièrement notre sujet :

JEAN-DANIEL-GUILLAUME LENOIR-DUFRESNE

NÉGOCIANT-MANUFACTURIER

NÉ A ALENÇON LE 24 JUIN 1768

DÉCÉDÉ A PARIS LE 22 AVRIL 1806.

Et sur une autre face, cette inscription en style de l'époque :

PLUS DE 5 000 OUVRIERS QU'ALIMENTA SON GÉNIE,
QU'ENCOURAGEA SON EXEMPLE,
SONT VENUS PLEURER SUR CETTE TOMBE
UN PÈRE ET UN AMI.

Nous avons voulu voir les registres de l'administration, et nous y avons trouvé en outre le prénom de Joseph et l'indication de la concession faite à M. Richard, manufacturier.

Il n'y a donc aucune incertitude, Richard et Lenoir ne sont pas un même homme. L'un est mort en 1806; l'autre, au contraire, a survécu aux désastres commerciaux qui ont suivi l'invasion, s'occupant encore d'industrie, mais sans notoriété et sans éclat,

Cependant, et c'est sans doute ce qui a donné lieu à l'erreur accréditée, Richard trouva bon de s'approprier le nom de Lenoir dans la suite de sa carrière commerciale; c'est sous le nom de Richard Lenoir qu'il fut nommé par l'Empereur chef de la 8e légion de la garde nationale de Paris, le 5 janvier 1814, et c'est encore sous ce nom qu'il fut décoré à ce titre, le 19 septembre de la même année, par le roi Louis XVIII.

On sait maintenant la vérité sur cette grande manufacture et sur ses chefs, et nous revenons en toute hâte au livre de M. Alcan.

Dès 1814 l'industrie française était en possession d'un véritable assortiment de machines pour la filature du coton. Les préparations de la matière filamenteuse, au lieu de s'effectuer avec un simple battage, étaient désormais mieux assurées au moyen de la machine à battre et de la machine à ouvrer : les cardes et les bobinoirs remplissaient dès lors leurs fonctions importantes. Depuis longtemps le fuseau avait été remplacé par le rouet et les cylindres étireurs de Paul Louis, patentés[1] en

1. M. Woodcroft, qui publie en Angleterre, une série de notices sur les inventeurs célèbres, nous avait demandé de rechercher s'il n'y avait en France aucune indication sur Paul (Louis); sa patente est prise au nom de Paul (Lewis) et l'orthographe du nom de famille ne laisse aucun doute sur son origine française. On admet même, jusqu'à preuve contraire, que l'invention des cylindres étireurs est due ainsi à un de nos compatriotes qui se serait établi en Angleterre, à la suite de l'édit de Nantes.

Angleterre en 1738, permettaient de produire un étirage progressif, qui est la condition essentielle de toute filature. Cependant le plus grand métier à filer ne contenait pas à cette époque plus de 260 broches, et ce chiffre donne la mesure de ce qui a été accompli depuis lors.

Il est peut-être bon de dire quelques mots sur la révolution qui s'est accomplie dans la fabrication des machines de filature, partir de 1820, alors que la concurrence des produits anglais avait ruiné tous nos filateurs, et toutes leurs usines.

La manufacture d'Ourscamp va s'établir et elle procède d'une façon magistrale. Elle ne se borne plus à acheter quelques métiers en Angleterre, elle demande aussi à nos voisins de puissantes machines outils, ces belles machines de Fox qui ont été les types respectés de notre outillage actuel.

Les bâtis étaient dès lors en fer et en fonte, et M. Pihet, en 1822, fut consulté sur la question de savoir si l'on pourrait exécuter des bancs semblables en France. Il s'en chargea immédiatement avec cette condition formelle que les outils de Fox seraient mis à sa disposition, et c'est ainsi que se créa à Paris le premier atelier de mécanique spécialement destiné à l'exécution des machines de filature. On rit bien un peu de ce mécanicien qui dérogeait en voulant devenir serrurier, mais on s'aperçut bientôt que l'homme garda ses aptitudes, et qu'entre ses mains, la grossière construction à laquelle les filateurs s'étaient habitués, devint de la belle et bonne mécanique.

M. Alcan nous saura gré d'avoir ajouté ce détail aux siens, et d'avoir ainsi rappelé les services éminents qui ont été rendus à cette industrie, par le doyen de nos mécaniciens français.

Les efforts ultérieurs ont eu surtout pour objet de perfectionner l'outillage dans ses détails, à l'exception toutefois de l'invention capitale de la peigneuse, qui est due à notre compatriote, Josué Heilmann, et à laquelle M. Alcan attache une grande importance, même pour la filature du coton.

Cette histoire des progrès techniques est très-attachante, et l'auteur a dû la terminer en faisant connaître son opinion sur l'avenir de la filature du coton. Ses préférences sont évidemment pour le métier continu, dont il voudrait voir le domaine se transporter jusque dans les fins numéros. Si nous ne nous trom-

pons, il n'a pas une aussi grande confiance dans l'avenir du métier self-acting, si ingénieux, mais si compliqué, vers lequel une sorte de mode entraîne aujourd'hui.

Mais nous ne voulons pas suivre l'auteur dans ses indications techniques, et nous devons nous borner à appeler l'attention de nos lecteurs sur ce qu'il dit, en terminant sa première partie, des conditions hygiéniques des manufactures de matières textiles. Il démontre, dans ce passage, comment les perfectionnements mécaniques, en diminuant les poussières et les impuretés de l'air, en limitant le nombre des ouvriers employés à une production donnée, comment les nouvelles conditions de ventilation et de chauffage, ont amélioré la position des travailleurs, en même temps qu'ils ont perfectionné le produit. Il semblerait que le temps est venu, dans lequel les améliorations apportées par un outillage perfectionné, en même temps qu'elles soulagent l'ouvrier dans ses travaux manuels et laissent une plus grande part à son intelligence, le mettent aussi, et par la force même des choses, dans de meilleures conditions hygiéniques, sous tous les rapports. En ce qui concerne la filature du coton, ces divers ordres de progrès paraissent surtout inséparables, et nous devons féliciter M. Alcan d'avoir fait ressortir ce point de vuedans celle de nos industries qui occupe encore le plus grand nombre de bras.

La deuxième partie du traité est intitulée : *Étude comparée des machines et des moyens techniques de la filature;* elle comprend à elle seule plus de la moitié du volume et elle est accompagnée de planches nombreuses qui représentent les machines les plus perfectionnées de chaque genre. On comprend comment, après avoir passé en revue, dans l'ordre le plus méthodique, les nombreux appareils dont la filature dispose, l'auteur arrive insensiblement à s'occuper de l'établissement d'une filature dans son ensemble, et comment après les laborieux préliminaires qu'il a successivement collationnés, il arrive à traiter cette question suprême par des déductions et par des chiffres puisés dans les chapitres précédents.

Nous serions forcément trop incomplets, si nous voulions jeter un coup d'œil sur l'ordonnance de cette partie de l'ouvrage; les titres en diront plus que nous n'en pourrions apprendre; en voici l'énumération :

Mais ces titres en couvrent bien d'autres, qui fournissent la matière d'autant de chapitres spéciaux; on en jugera par les subdivisions relatives au chapitre XXXI qui constitue, en quelque sorte, l'application de tous les autres :

« Considérations préliminaires. — Éléments à prendre en considération pour fixer l'importance d'une filature. — Questions techniques à résoudre. — Détermination de l'assortiment. — Revue technique des diverses machines destinées aux mêmes transformations dans la filature. — Composition de l'assortiment. — Prix de revient de l'assortiment précédent avec des rotafrotteurs au lieu de bancs à broches. — Salaires totaux par broche. — Répartition et rapports des salaires des diverses opérations et du filage. — Dépenses des bâtiments de la filature. — Prix du mètre carré de la construction en rez-de-chaussée. — Détermination des frais nécessaires au travail d'une broche. — Dépense en combustible par unité de poids et de longueur de fil. — Dépense pour le chauffage. — Dépense pour le personnel. »

La plupart des autres chapitres étant aussi chargés, on comprend pourquoi nous ne pouvons entrer dans aucun détail.

En résumé, l'œuvre de M. Alcan nous paraît présenter le caractère spécial d'une grande opportunité, d'une étude approfondie et consciencieuse, et de cette expérience exceptionnelle dont notre collègue a fait depuis longtemps sa règle de conduite. Que si quelques-uns de nos lecteurs voulaient attribuer nos félicitations à l'influence, quelquefois suspecte, d'une plume amie, nous leur conseillerons d'examiner par eux-mêmes si nous ne sommes pas tombé dans l'excès contraire, et si nous ne méritons pas le reproche de ne pas avoir assez fait valoir les points les plus importants du traité complet de la filature du coton.

H. Tresca

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Ce, rue des Poitevins, 6.

Principaux Articles

QUI PARAITRONT DANS LES PROCHAINS NUMEROS.

M. MORIN. — Hygiène et ventilation.

M. PERSOZ. — Appareil pour la détermination des densités.

MM. TRESCA et CH. LABOULAYE. — Recherches expérimentales sur la théorie mécanique de la chaleur.

M. TRESCA. — Procès-verbaux des expériences de mécanique au Conservatoire des arts et métiers.

TABLE DES MATIÈRES

Du 19ᵉ Numéro.

(3ᵉ *Numéro de la cinquième année*)

MODE DE PUBLICATION.

DES ANNALES DU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS.

Cette publication paraît tous les trois mois depuis le 1ᵉʳ juillet 1860, en cahiers de 12 à 15 feuilles, avec gravures sur cuivre et sur bois.

Le prix de l'abonnement est de 16 francs par an pour toute la France et de 20 francs pour l'Étranger.

Les années précédentes formant chacune 1 fort volume in-8 d'environ 800 pages, avec de nombreuses figures et planches gravées, se vendent chacune séparément 16 francs.

Les numéros se vendent séparément 5 francs.

On s'abonne à l'année courante, ou l'on reçoit *franco* chacune des années publiées,

En adressant *franco* un mandat de 16 francs sur la poste,

A la Librairie scientifique, industrielle et agricole de EUGÈNE LACROIX, éditeur,

15, quai Malaquais, à Paris.

Paris. – Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cᵉ, rue des Poitevins, 6.

Publications scientifiques industrielles de E. Lacroix.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

N° 20. — Avril 1865. — Tome V. (4e fascicule)

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

1865

Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. le baron Charles **DUPIN**, de l'Académie des Sciences.—M. **LAUSSEDAT**, *suppléant*.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. *Professeur :* M. **DE LA GOURNERIE**, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **TRESCA**, sous-directeur du Conservatoire.

CONSTRUCTIONS CIVILES. *Professeur :* M. **TRÉLAT**, architecte.

PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Edmond **BECQUEREL**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. Eug. **PÉLIGOT**, de l'Académie des Sciences.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. *Professeur :* M. **PAYEN**, de l'Académie des Sciences.

AGRICULTURE. *Professeur :* M. **MOLL**, de la Société impériale d'Agriculture.

CHIMIE AGRICOLE. *Professeur :* M. **BOUSSINGAULT**, de l'Acad. des Sciences.

TRAVAUX AGRICOLES ET GÉNIE RURAL. *Professeur :* M. **HERVÉ MANGON**, ingénieur des ponts et chaussées.

FILATURE ET TISSAGE. *Professeur :* M. **ALCAN**, ingénieur civil.

TEINTURE, APPRÊT ET IMPRESSION DES TISSUS. *Professeur :* M. **PERSOZ**, directeur de la Condition des soies.

ÉCONOMIE POLITIQUE ET LÉGISLATION INDUSTRIELLE. *Prof. :* M. **WOLOWSKI**, de l'Académie des Sciences morales et politiques.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE ET STATISTIQUE. *Professeur :* M. J. **BURAT**.

Professeur honoraire : M. le Général **MORIN**, de l'Académie des Sciences.

Conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers :

MM. le général **MORIN**, directeur du Conservatoire, *président*.
SCHNEIDER, vice-président du Corps législatif, directeur des usines du Creusot, *vice-président*.
TRESCA, sous-directeur du Conservatoire, *secrétaire*.

MM. les **PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE**.

Et MM. **MARY**, inspecteur général des ponts et chaussées.
COUCHE, ingénieur en chef, professeur à l'École impériale des Mines.
DAILLY, de la Société impériale d'Agriculture.
FÉRAY, d'Essonne, manufacturier.
HOUEL, ingénieur des usines Cail et Cie.
DIETERLE, ancien chef des travaux d'art à la manufacture impériale de Sèvres.

SUR LA COMPOSITION DU PULQUE,

BOISSON FERMENTÉE,

préparée avec la séve du Maguey (AGAVE AMERICANA).

PAR M. BOUSSINGAULT.

Rapport fait à la Commission impériale du Mexique.

Les peuples parvenus à un certain degré de civilisation tirent généralement leurs boissons enivrantes de plantes alimentaires : du riz en Asie; de l'igname, de la banane en Afrique; des céréales dans le nord de l'Europe. Seule, la vigne est cultivée pour en obtenir du vin. Ce qui a lieu dans l'ancien monde, on le retrouve dans le nouveau continent. Lors de la découverte de l'Amérique, la *Yuca* (*Jatropha manihot*), le maïs, bases essentielles de la nourriture des habitants de la zone équinoxiale, servaient aussi à préparer des liqueurs spiritueuses : Le *Guarapo de manioc* dans les régions chaudes; la *Chicha* dans les cordillières du Pérou et de Cundinamarca. Un seul végétal était alors cultivé pour en faire une boisson fermentée; c'était le *Maguey* ou *Melt*, dont les plantations s'étendaient aussi loin que la langue Aztèque.

Le *Maguey*, variété de l'*Agave americana* de la famille des *Bromiliacés*, croît sur tous les plateaux tempérés de l'Amérique équatoriale, dans une zône verticale comprise entre 2 000 et 2 500 mètres d'altitude, dans des conditions climatériques que ne supporteraient pas le froment, le maïs et les pommes de terre : des sécheresses prolongées, une température s'abaissant fréquemment au-dessous de 0 degré; de la neige, de la grêle tombant par raffales; des vents impétueux qui se font sentir périodiquement sur toutes les stations élevées des Andes. C'est

que l'agave possède des feuilles raides, charnues, lancéolées, creusées en gouttières de 0m,5 à 10m,2 de longueur, et de 15 à 20 centimètres de largeur, de 5 à 10 centimètres d'épaisseur au point d'attache; elles sont bordées de dents épineuses et terminées par une pointe très-aiguë, ayant l'aspect et la dureté de la corne. Ces feuilles partent toutes du collet de la racine, sorte de tige solidement implantée dans le sol. Il y a là, on le voit, des conditions de stabilité que l'on ne rencontre réunies que sur un nombre fort limité d'espèces végétales.

Le volume du parenchyme tient d'ailleurs en réserve assez d'humidité pour que l'agave puisse supporter, sans trop souffrir, la sécheresse la plus intense. C'est au reste une faculté propre à toutes les plantes grasses de restreindre ou de suspendre leur vitalité pendant un temps considérable, quand cessent d'agir les agents extérieurs qui la déterminent et la favorisent. Aussi prennent-elles possession de la terre dans des localités où aucun autre végétal ne pourrait exister. Dans les plaines de sable que l'on traverse en allant du Chimborazo à Quito, les agaves, les cactus à cochenilles, les aloes aux teintes bleuâtres, impriment par leur isolement et leur uniformité, un aspect singulièrement monotone à ces solitudes. La vue ne se repose plus sur ces plantes sociales si communes entre les tropiques, groupées en familles aussi nombreuses que variées, constituant ce monde végétal qui, suivant l'expression de Humboldt, agit si puissamment sur notre imagination par son immobilité et sa grandeur.

Dans les belles cultures de Toluca, dans les plaines de Cholula, les plants d'agave sont espacés à environ 1m,5. En faisant une réserve pour les sentiers et les clôtures, on estime qu'un hectare contient 4000 pieds. La plantation a lieu par drageons, et à part la préparation du sol, le maguey n'exige presqu'aucun soin, jusqu'à l'époque ou les indices de la maturité se manifestent. Dans les terrains arénacés où il croît spontanément, la floraison n'a lieu qu'à de très-longs intervalles, tous les 20 à 25 ans; les phénomènes physiologiques qui la précèdent ou l'accompagnent, sont des plus remarquables. Les feuilles radicales amples, coriacées, épineuses, après être restées pendant des années penchées vers la terre, se redressent et s'approchent d'un bourgeon conique partant du milieu des feuilles centrales, comme pour le couvrir, le protéger. Il y a là un mouvement

graduel très-apparent qui semble obéir à une volonté. C'est un curieux spectacle que de voir s'animer un végétal auquel l'épaisseur comme la rigidité de ses organes aériens donnent une telle fixité, que le vent de la pampa l'agite à peine, alors même qu'il souffle avec le plus de force. Le bourgeon s'allonge avec une étonnante rapidité ; bientôt il forme une hampe ligneuse revêtue d'écailles imbriquées que termine une grappe florale. L'on peut affirmer sans la moindre exagération, que l'on voit pousser cette tige; cela n'a rien de surprenant, puisque, en moins de deux mois, avec un diamètre de 2 décimètres à la base, elle atteint une hauteur de 5 à 6 mètres. C'est un accroissement moyen de 9 centimètres par jour, de 4 millimètres par heure. L'*Agave cubensis* a une croissance plus rapide encore. Dans les environs de Tocuyo, en Venezuela, j'ai vu ce *maguey* porter, dans le même espace de temps, des hampes couvertes de fleurs, de 12 à 15 mètres de hauteur, ce qui donne un développement moyen de 20 à 25 centimètres par jour.

La hampe est partagée, à son sommet, en plusieurs rameaux formant un assemblage compact de fleurs que l'on estime à 4 ou 5 000. L'*agave* a dépensé pour accomplir cette évolution, ce que son organisme avait élaboré pendant des années; il est épuisé, il meurt; seuls les drageons qui garnissent sa racine survivent pour le régénérer.

Dans les plantations, l'on s'oppose à la floraison. Tout ce que la nature destinait à produire la hampe, les fleurs, les fruits, doit devenir la boisson favorite des Mexicains, le pulque. La plante jusque-là laissée à elle-même, comme l'arbre dans la forêt, est, lorsqu'elle va fleurir, l'objet d'une vigilance de tous les instants. L'Indien, avec la patience qui caractérise sa race, guette l'apparition des indices précurseurs du moment où la hampe va s'élancer : le redressement des feuilles radicales, l'allongement et la dégradation des teintes des feuilles centrales, le port, la physionomie du végétal. Incessamment il parcourt la plantation, marquant d'un signe les pieds disposés à fleurir. C'est alors que l'on procède à la récolte de la sève, nommée aguamiel à cause de sa saveur sucrée et avec laquelle l'on prépare le pulque.

Après avoir coupé le bourgeon conique qui deviendrait le pédicule de la fleur; après avoir enlevé le faisseau de feuilles dont

il est entouré, l'on creuse, à l'aide d'une cuiller à bords tranchants, une cavité cylindrique de 15 à 20 centimètres de diamètre, et de 10 à 15 centimètres de profondeur. C'est dans cette excavation que se rassemble la séve élaborée. La plaie graduellement élargie est couverte en rapprochant les feuilles latérales que l'on maintient dans cette situation, soit en les liant ensemble par leur extrémité, soit en les tenant courbées sous une pierre plate. On enlève le liquide deux ou trois fois par jour, et pour en favoriser l'écoulement, l'on racle les parois de la cavité afin d'empêcher les vaisseaux de s'obstruer. Pour recueillir la séve sucrée, les Indiens se servent de l'*acocoté*, instrument fonctionnant comme une pipette. C'est une sorte de calebasse allongée, sur laquelle sont ajustés deux bouts de cornes percés; l'un plongeant dans le liquide, l'autre servant à l'aspiration, lorsque l'on veut remplir l'acocoté pour la vider ensuite dans un vase en terre cuite, où l'on réunit la séve pour la transporter dans le cellier où elle doit fermenter.

La précocité de la maturation du maguey cultivé est généralement attribuée à la fertilité du sol, et quelque fois aussi aux arrosements que l'on donne dans de rares localités. Il est vraisemblable cependant, que cette précocité à l'expension de la hampe dépend aussi de ce que les plantations sont établies dans des climats moins âpres que ceux où le maguey croît naturellement. Rien, en effet, n'a autant d'influence sur la floraison des agavées que la température. Dans l'Europe septentrionale, où le maguey, lorsqu'on l'abrite pendant l'hiver, végète avec vigueur, murit si rarement, qu'il en est résulté cette croyance populaire, que l'apparition des fleurs n'a lieu qu'une fois en cent ans : Dans la province d'Oaxaca, au Mexique, à 3 000 mètres d'altitude, parconséquent dans une région froide, le *Fureræa longæva* ayant 13 à 14 mètres de hauteur, portant des feuilles longues de 2 à 3 mètres, n'émettrait sa hampe terminée par d'abondantes fleurs jaunes que tous les trois siècles, si l'on s'en rapporte aux Indiens.

Dans les environs de Cholula, entre Toluca et Cacanumucan, la maturité du maguey cultivé est accomplie en huit ans; communément un pied fournit 4 litres d'aguamiel par jour et pendant deux ou trois mois. Une plante très-vigoureuse en donne 7lit.,5 en vingt-quatre heures, durant quatre à cinq mois; soit

959 litres[1]; c'est là une production des plus élevées. Dans les mauvais terrains, un pied ne rend guère au delà de 112 litres de séve. Ce chiffre se rapproche de celui donné par M. Dreyer, pharmacien aide major de l'armée d'occupation. Un plant émettrait chaque jour pendant trois mois 1 à 2 litres d'aguamiel, soit en totalité 136 litres. Ces variations considérables dans les récoltes dépendent de la situation occupée par la culture du sol, des soins apportés à la détermination des indices de maturité, et surtout du choix des variétés cultivées.

Les variétés de l'agave américaine sont assez nombreuses, on en connaît trente environ, dont les différences spécifiques sont aussi difficiles à saisir que celles des divers cépages de la vigne[1].

La valeur d'un pied de maguey, arrivé à mâturité, était de 25 fr. à Pachuca, à l'époque où Humboldt visitait la nouvelle Espagne; l'on se formera d'ailleurs une idée de l'importance de la culture de cette plante, par les droits sur le pulque. En 1793, il s'élevèrent à la somme de 4 088 095 fr., en déduisant les frais de perception, le fisc retirait net de cet impôt 3 800 000 fr.[2]. C'est qu'au Mexique, sur les plateaux, les métis, les mulâtres, les blancs, préfèrent comme les Indiens, le suc fermenté de l'agave à tout autre boisson. A Mexico, une population de 140 000 âmes consomme annuellement 418 000 hectolitres de pulque. C'est près de 3 hectolitres par chaque habitant; il est vrai qu'il faut tenir compte de la population flottante affluant dans la capitale les jours des marchés, et qui n'est pas la moins altérée.

Une telle consommation explique l'extension des cultures de maguey, dont quelques-unes, près Hocotitlan, rapportent, chaque année, plus de 40 000 francs de revenu. Suivant de Humboldt, l'ivrognerie est surtout commune dans les environs de Puebla, de Tlascula, partout où le pulque est produit en abondance. Dans la capitale de Mexico, la police fait circuler des tombereaux pour recueillir les ivrognes que l'on trouve étendus dans les rues. Ces Indiens, ivres-morts, sont déposés au corps-de-garde; on leur met le lendemain un anneau de fer au pied, et on les fait travailler pendant trois jours à nettoyer la voie publique. L'administration ne manque jamais de balayeurs[3].

1. Humboldt.
2. Dreyer.
3. Humboldt.

La séve sucrée de l'agave, l'aguamiel possède une saveur aigre-doux assez agréable, elle est sans odeur, légèrement opalescente, assez mucilagineuse pour mousser par l'agitation; l'ébullition coagule l'albumine qu'elle renferme. M. Dreyer en évaporant 1 litre de séve immédiatement après son extraction, a obtenu un résidu pesant 76 grammes après dessication à 110 degrés.

L'aguamiel récoltée est mise dans des peaux de bœufs fixées par quatre piquets. Ce sont en réalité des outres ouvertes. Une fermentation très-vive ne tarde pas à se manifester. Une matière blanche, analogue à la caséine se dépose en partie; celle qui reste en suspension communique au liquide une certaine opacité, un aspect lactescent. La fermentation tumultueuse est terminée en trois jours. Le pulque est alors soutiré dans un récipient semblable au premier; la fermentation en se ralentissant favorise le dépôt de matières albuminoïdes. L'on opère encore un nouveau soutirage en faisant passer le liquide dans un troisième récipient en peau de bœuf, où la fermentation s'achève [1]; c'est dans ce récipient que l'on puise le pulque pour le livrer à la consommation. Malgré les trois soutirages, cette boisson conserve son apparence laiteuse, elle ressemble à du petit lait mal édulcoré.

L'on distingue le *pulque dulce* du *pulque fuerte*. Le premier, comme la saveur l'indique, renferme du sucre non transformé; le second ne contient plus de principe sucré, il est âpre au goût, plus alcoolique, plus enivrant; par cela même il plaît davantage aux Indiens; dans les deux cas, il a une odeur de viande pourrie évidemment développée pendant la fermentation, puisque le mout de l'Agave est inodore. Lorsqu'ils sont parvenus à vaincre le dégoût qu'inspire naturellement cette odeur fétide, les Européens préfèrent le pulque au vin, parce qu'ils le regardent comme stomachique, fortifiant et surtout comme très-nourrissant. Nourrissant cela se conçoit; j'ai souvent entendu les Indiens de Bogota attribuer la même propriété à la chicha de maïs. C'est qu'en prenant ces liquides fermentés, épais, visqueux l'on boit et l'on mange à la fois. C'est au reste une affaire d'habitude, et M. Dreyer rapporte que l'usage du pulque s'est introduit assez facilement

1. Dreyer.

dans l'armée française, bien qu'il reconnaisse que beaucoup d'officiers et de soldats éprouvent pour cette boisson une répulsion insurmontable.

On est partagé au Mexique sur la cause de la fétidité du pulque; les uns la considèrent comme accidentelle, en l'attribuant à l'intervention de la matière animale appartenant aux peaux de bœufs dans lesquelles séjourne le mout, affirmant que *l'aguamiel* mise à fermenter dans des vases de terre ne contracte pas de mauvaise odeur. Les autres au contraire soutiennent que la fétidité est la conséquence de la fermentation. Cette opinion paraît assez fondée. En effet, si l'on envisage la constitution physique et chimique de la séve du maguey, l'on s'aperçoit qu'elle se rapproche beaucoup de celle du lait des animaux, particulièrement du lait de jument dans lequel il n'y a que fort peu de globules de beurre. De part et d'autre, l'on a en dissolution ou en suspension un glucoside, de l'albumine, de la matière caséeuse, c'est la même couleur, la même opacité. La comparaison d'un suc végétal au lait d'un mammifère est bien permise aujourd'hui que l'on sait que les animaux assimilent en les modifiant à peine les matériaux tout formés dans les fourrages dont ils se nourrissent. Or, il y a une ressemblance frappante entre le pulque venant de la séve lactescente du *maguey* et le *koumiss* que les Kalmouks préparent en faisant fermenter le lait soit pour le boire, soit pour en extraire de l'alcool en le distillant. Les deux liqueurs ont le même aspect, la même saveur, à très-près la même odeur. C'est que suivant la température à laquelle s'accomplit la fermentation d'un glucoside en contact avec de l'albumine et de la matière caséeuse, on obtient un produit plus ou moins odorant, quelquefois même nauséabond, lorsque parallèlement à la formation de l'alcool il y a apparition d'acide butyrique, acide dont j'ai reconnu la présence dans le pulque.

Malgré la conquête qui a porté la vigne dans le nouveau monde, l'octli ou pulque est resté la boisson de prédilection des habitants de l'Anahuac. Aujourd'hui comme sous la dynastie Aztèque, des étendues considérables de terrains, sont consacrées à la culture du maguey. Une production aussi importante de l'agriculture mexicaine méritait à tous égards de fixer l'attention de la commission impériale. Grâce à l'initiative de notre honorable collègue, M. le général Ribourt, j'ai eu à ma disposition,

dans le courant du mois d'août, du pulque de Trascala, expédié de la Véra-Cruz, le 16 juillet, par les soins de M. le sous-intendant militaire Ségonne. Une main habile avait préparé cet envoi. Chaque bouteille, remplie aux 5/6 seulement dans la prévision d'une émission de gaz, était bouchée avec un liége solidement maintenu par des liens en fil de fer; à l'ouverture des bouteilles, il s'est dégagé de l'acide carbonique, c'est sans doute par la présence de ce gaz que le pulque a pu supporter le transport sans éprouver d'altération, sans subir la fermentation lactique. Par le repos, cette liqueur n'est pas devenue limpide, elle a conservé l'apparence du petit lait; même après avoir été filtrée, elle est restée opalescente. Sa saveur était légèrement acide, rappelait celle du vin de palmier, en faisant toutefois abstraction de l'odeur que deux experts ont caractérisée en disant : le premier, que le pulque sentait la viande très-faisandé ; le second, le vieux fromage.

Je crois que l'on peut prendre la moyenne de ces deux appréciations en y ajoutant, ce qu'un chimiste seul pouvait reconnaître, l'odeur de l'acide butyrique que l'on perçoit ordinairement dans les produits de la fermentation du lait.

La substance blanche, tenue en suspension, qui rend la liqueur lactescente, est précipitée par une abondante addition d'alcool; elle est alors mêlée à des lambeaux de cellulose, à de la gomme, en un mot à tout ce qui est insoluble dans l'alcool; elle renferme, à n'en pas douter, une matière albuminoïde, puisqu'elle a fourni 3.13 p. 100 d'azote, représentant près de 20 p. 100 d'alumine.

Dans un litre de pulque de Trascala, pesant 976 grammes, j'ai dosé :

	Volume.	Poids.
Alcool absolu	74cc	58.76
Glucose	»	0.00
Glycérine	»	2.10
Acide succinique	»	1.40
Acide carbonique	308	0.61
Acide organique libre (malique)	»	5.50
Acide butyrique, acétique	»	Indices.
Acide lactique	»	0.00
Matière gommeuse	»	0.50
Ammoniaque	»	0.05
Potasse	»	0.85
Chaux, magnésie, acide phosphorique	»	2.50
Matière azotée, caséine	»	1.90
Eau et pertes	»	901.83
		976.00

On remarquera que la matière sucrée avait complétement disparu, circonstance assez rare dans les liquides fermentés et qui explique la forte proportion de substances albuminoïdes, contenues dans le mout de l'Agave.

La teneur en alcool, 7^{lit}·4 par hectolitre approche de celle des vins légers jouissant d'ailleurs d'une réputation méritée, fondée plutôt sur la finesse du bouquet que sur la richesse alcoolique, l'on peut citer le chably, renfermant rarement au delà de 7.5 d'alcool pour 100.

C'est avec le cidre que le pulque a peut-être le plus d'analogie, l'un et l'autre étant d'une conservation difficile doivent être bus promptement.

En appliquant à du cidre obtenu en 1863, dans nos cultures, exactement les mêmes procédés d'analyse, j'ai trouvé dans un litre, pesant 1 002 grammes :

	Volume.	Poids.
Alcool absolu	71.3^{cc}	56.61
Glucose $C^{12}H^{12}O^{12},2$ (HO)	»	15.40
Glycérine et acide succinique	»	2.56
Acide carbonique	13.60	0.27
Acide malique libre	»	7.74
Acide butyrique	»	0.00
Acide acétique	»	Indices.
Acide lactique	»	0.00
Matière gommeuse	»	1.41
Ammoniaque	»	0.00
Potasse	»	1.55
Chaux, chlore, acide phosphorique, acide sulfurique	»	0.20
Matière azotée	»	0.12
Eau et pertes	»	915.14
		1,002.00

Dans ce cidre, bien qu'il fût en tonneau depuis près d'une année, le glucose n'avait pas entièrement disparu par la fermentation, il en restait encore 15^{gr}·4 par litre.

Comparons maintenant le produit du maguey à celui de la vigne.

Humboldt rapporte que, dans une plantation anciennement établie, un treizième est exploité annuellement pour en extraire

l'aguamiel. C'est admettre que dans ces conditions l'agave atteint l'époque à laquelle la hampe va se développer, à l'âge de treize ans. A raison de 4 000 pieds par hectare, il y en a 307 soumis à la ponction pendant 76 jours, fournissant 933 hectolitres de mout. Retranchant le 1/6 de ce nombre pour la diminution de volume occasionnée par la fermentation, l'évaporation et les soutirages, c'est un produit annuel par hectare de 778 hectolitres. Dans des situations moins favorisées, nous avons vu que le rendement de chaque plant n'est plus que de 136 litres, le produit est alors de 418 hectolitres de mout se réduisant à 348 hectolitres de pulque.

Il faut bien des années d'observations pour établir la moyenne des récoltes de vin. Il n'y a pas de culture dont le rendement soit plus variable que ceux d'un vignoble. En embrassant de grandes surfaces, on est surpris de la faiblesse de la production. Un économiste éminent, Blanqui, mon regretté collègue au Conservatoire, établissait dans une note encore en ma possession que, dans le département de la Gironde, 103 000 hectares donnaient, en moyenne, 2 millions d'hectolitres de vin : 19^{hect},4 par hectare. C'est que la récolte est parfois nulle dans certains cantons ravagés par la grêle; parfois réduite à de très-minimes proportions par les gelées d'hiver ou du printemps, par la coulure, etc. Cependant la production atteint quand toutes les circonstances sont favorables :

80 hectolitres de gros vin dans les bons sols de la Garonne;

60 hectolitres de vin de ménage sur les coteaux de la Dordogne;

40 hectolitres de vins fins sur les coteaux bien exposés de Grave et de Saint-Émilion;

30 hectolitres de vins supérieurs, légers, froids, dans les terres du haut Médoc.

Un tel rendement n'a lieu que tous les quinze ou vingt ans.

Dans le Languedoc, les cépages d'Aramon et de Terret sont certainement les plus productifs; les cultures très-soignées, fortement fumées, fournissent à l'hectare, dans les bonnes années, jusqu'à 300 hectolitres de vin à 1/10 d'alcool. Dans les cultures ordinaires, on obtient 135 hectolitres d'une teneur moyenne alcoolique de 8 p. 100. Dans la Côte-d'Or, la moyenne des récoltes faites à Volnay, de 1807 à 1842, n'a pas dépassé 17 hec-

tolitres, et quelle différence dans la production annuelle? La plus élevée, celle de 1842 est de 45 hectolitres; la plus faible, celle de 1816, un hectolitre et demi; la richesse alcoolique des bons vins de Bourgogne est estimée à 10 p. 100. Ces produits de la vigne, même dans les conditions les plus favorables, sont certainement inférieurs à ceux de l'Agave.

Sans doute, il n'entrera dans l'esprit de personne d'assimiler le pulque au vin, même au vin de qualité très-inférieure. Aussi, la comparaison ne doit-elle porter que sur une matière commune aux deux boissons, sur l'alcool ayant de part et d'autre la même composition, les mêmes propriétés, la même valeur? L'eau-de-vie de pulque, le *mexical*, préparé dans les intendances de Valadolid, de Mexico, de Durango, faisait autrefois une telle concurrence aux eaux-de-vie de la Castille que le gouvernement espagnol en avait sévèrement prohibé l'usage[1]. L'alcool que j'ai retiré en distillant le pulque de Trascala était de bon goût, rien ne rappelait l'odeur désagréable du liquide qui l'avait fourni.

Le *pulque* renfermant 7,4 p. 100 en volume d'alcool absolu, on a pour l'alcool produit par un hectare planté en maguey :

Culture très-favorisée	56	hectolitres.
Culture très-ordinaire	26	—

En prenant pour le vin de la Gironde une teneur alcoolique de 11 p. 100, on a pour l'alcool élaboré sur un hectare :

Récolte exceptionnelle.	Vin.	80.0	hectolitres.	Alcool.	8.8	hectolitres.
Récolte moyenne	Vin.	19.4	—	Alcool.	2.1	—

Languedoc Aramon et Terret :

Culture exceptionnelle.	Vin.	300	hectolitres.	Alcool.	30.0	hectolitres.
Culture ordinaire	Vin.	135	—	Alcool.	11.0	—
Côte-d'Or	Vin.	17	—	Alcool.	2.0	—

Si on étend la comparaison à la canne à sucre, à la betterave, aux pommes de terre, aux céréales destinés à l'alambic, la supériorité comme producteur d'alcool reste encore à l'Agave.

Sur la terre ferme, dans l'État de Venezuela, la canne d'Otaïti, récoltée sur un hectare, rend au moulin (trapiche) un vesou dans lequel il entre 2 000 kil. de sucre, pouvant donner 27 hectolitres

1. Humboldt.

de rhum marquant 50 degrés à l'aéromètre et renfermant, par conséquent, 13 hectolitres d'alcool absolu.

Une récolte par hectare de 30 000 kil. de betteraves d'une teneur succharine de 10 p. 100, contient les éléments de 20 hectolitres d'alcool.

Dans le département de Seine-et-Marne, la betterave globe jaune amendée par le fumier de ferme et du guano, rend 45 000 kil. à l'hectare et est riche à 6 p. 100. Par la distillation, on en retire 36 hectolitres de flegme à 50 degrés, soit 18 hectolitres d'alcool.

En Prusse, en Alsace, en Flandre, on admet dans la pratique que :

100	kilog.	de pommes de terre	fournissent	10	litres d'alcool à 50 degrés.
100	—	de maïs	—	50	—
100	—	de froment	—	55	—
100	—	de seigle	—	45	—
100	—	d'avoine	—	44	—
100	—	d'orge	—	43	—

De l'ensemble de ces données l'on tire pour la production de l'alcool d'une culture faite sur un hectare, les nombres que j'ai réunis dans un tableau :

PLANTES.	NATURE de LA RÉCOLTE.	En volume.	En poids.	Alcool absolu fourni par la recolte.	REMARQUES.
			kilog.	hectol.	
Agave americana.	Pulque....	778	»	56	Culture très-productive.
Agave americana.	Pulque....	348	»	26	Culture très-ordinaire.
Vigne..........	Vin......	80	»	9	Gironde; gros vin.
Vigne..........	Vin......	19	»	2	Gironde; moyenne.
Vigne..........	Vin......	300	»	30	Hérault; Aramont, c. t.-moyenne.
Vigne..........	Vin......	135	»	11	Id.; Aramont, Terret, moyenne.
Vigne..........	Vin......	17	»	2	Bourgogne; vins fins, moyenne.
Canne à sucre...	Sucre.....	»	2000	14	Venezuela (Amérique du Sud).
Betterave.......	Racines...	»	30000	20	Betterave à 1 p. 10 de sucre.
Betterave.......	Racines...	»	45000	18	Betterave à 6 p. 1 de sucre.
Pommes de terre.	Tubercules.	»	27000	22	Palatinat.
Froment.......	Grains....	28	2072	6	
Maïs..........	Grains....	37	2709	7	Venezuela (Amérique du Sud).
Maïs..........	Grains....	129	9417	24	Hœrth (Bas-Rhin).
Seigle........	Grains....	28	2016	5	
Avoine........	Grains....	38	1710	4	
Orge..........	Grains....	30	1800	4	

Des plantes pouvant fournir l'alcool, l'agave americana, à égalité de surface cultivée, paraît être la plus productive, et il est douteux, quoi qu'ait prédit Humboldt, que les plantations de maguey soient un jour remplacées par des vignobles. La prédiction date de plus de 60 ans, et rien n'est changé. Les tentatives de viticulture faites au Mexique n'ont donné jusqu'à présent que des résultats insignifiants. Il est d'ailleurs une altitude et par suite une situation climatérique, où la vigne ne déplacera jamais l'agave, indifférente aux alternatives les plus subites de sécheresse et d'humidité, bravant les météores par la rigidité de ses organes, s'établissant sur les sols les plus ingrats, végétant alors plus lentement sans doute, mais produisant toujours en assimilant, comme la forêt inculte, les plus minimes éléments de fertilité qui sont disséminés dans l'air et dans la terre.

NOTE ET DOCUMENTS

SUR

L'HOPITAL D'ACCOUCHEMENT

DE SAINT-PÉTERSBOURG.

Par M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Il a été construit, dans ces dernières années, à Saint-Pétersbourg, un vaste hôpital d'accouchement destiné à recevoir environ cent trente femmes, et dans lequel toutes les précautions propres à en assurer la salubrité ont été prises avec une largeur et une connaissance des besoins à satisfaire, qui font le plus grand honneur au gouvernement qui en a supporté la dépense et aux ingénieurs chargés de la construction.

Au lieu d'y agglomérer les femmes en couches dans des salles mal aérées où, réunies en grand nombre, elles sont exposées aux ravages de la funeste épidémie qui les décime si souvent, on les a réparties dans des chambres nombreuses, parfaitement éclairées et ventilées, communiquant avec des corridors, bien chauffés et aérés. Tandis qu'en France, nous croyons, non sans raison, réaliser un immense progrès sur l'état actuel des maisons d'accouchement existantes, en demandant que le nombre des lits, dans chaque salle, n'excède pas douze, on l'a réduit à quatre dans cet hôpital et par respect pour la morale publique, l'on y a séparé avec soin les femmes mariées des filles mères.

Le bâtiment principal, composé d'un corps formant façade sur la rue Nadezdinskaia et de deux ailes, est d'ailleurs divisé au milieu par de vastes escaliers et par des salles de service qui le fractionnent en quatre grandes sections.

Par une disposition qu'ont peut-être commandée les conditions climatériques du pays, le rez-de-chaussée est consacré aux divers services, le premier étage aux sages-femmes et aux élèves sages-femmes au nombre de cinquante que l'on forme dans l'établissement, le troisième et le quatrième aux femmes en couches.

Les salles affectées à ces dernières sont réparties ainsi qu'il suit à chacun de ces étages :

	nombre de lits.	
8 chambres à un lit pour les accouchements qui doivent être faits secrètement.	8	
4 chambres à quatre lits pour les femmes mariées	16	
7 chambres à quatre lits pour les filles mères. . .	28	
Total par étage	52	lits.

Il y a donc en tout 104 lits pour femmes en couches. En outre, il existe à chacun de ces deux étages :

3 chambres à quatre lits pour les femmes enceintes	12	
2 chambres de travail	2	
1 chambre de malades.	1	
Total par étage.	15	
Ou pour les deux étages	30	lits.
De sorte que l'hôpital contient en totalité.	132	lits.

disponibles pour les femmes qui viennent y réclamer les secours de l'assistance publique.

La capacité cubique allouée par lit varie de 50 à 60 mètres cubes. La rigueur du climat a sans doute empêché de l'augmenter et de la porter à 100 mètres, comme on le demande en France, mais l'abondance du renouvellement de l'air, qui est de plus de 90 mètres par heure et par lit, suffit largement à assurer la salubrité.

L'admission et l'évacuation de l'air sont produites par le seul effet de l'aspiration, et toutes les dispositions adoptées à cet effet par l'habile ingénieur, M. le baron de Derschau, auquel on les doit, sont d'accord avec les principes que j'ai développés dans mes *Études sur la ventilation*, et dont l'observation confirme chaque jour l'exactitude.

Les prises d'air au nombre de quatre, dont chacune sert à deux calorifères, sont faites dans les jardins de l'hôpital à 3 mètres au-dessus du sol. Des cheminées bien couvertes et entourées de verdure les mettent à l'abri de toute introduction étrangère au service.

Les calorifères, au nombre de huit pour les salles de malades et les dortoirs, sont en briques réfractaires, ne contiennent aucun tuyau métallique et fournissent de l'air à 30 ou 40° centigrades au plus. Chacun est placé au milieu d'une chambre à air dans laquelle est disposée une bâche toujours pleine d'eau. Chaque calorifère suffit pour le chauffage et la ventilation de la partie de l'édifice qui lui correspond, et dont la longueur horizontale n'excède pas 12 à 15 mètres.

L'air est admis dans les salles vers la partie supérieure.

L'air vicié est évacué à hauteur des planchers. Tous les conduits d'évacuation correspondant aux salles chauffées par un même calorifère, sont réunis au grenier dans des canivaux collecteurs, qui aboutissent à une cheminée unique d'évacuation. Il y a ainsi autant de cheminées que de calorifères.

La différence naturelle des températures intérieure et extérieure suffit pendant la plus grande partie de l'année pour donner à l'appel l'activité nécessaire; mais lorsqu'elle est trop faible, et dès que la température extérieure s'élève à 5° au-dessus de zéro, des becs de gaz placés dans la cheminée d'évacuation y sont allumés jour et nuit.

Cette cheminée est surmontée d'un tuyau à girouette qui s'oriente naturellement, de manière à profiter de l'action du vent pour favoriser l'évacuation de l'air vicié.

L'on trouvera la description sommaire des dispositions adoptées dans la note rédigée à cet effet par l'auteur et pour l'intelligence de laquelle nous renvoyons à la planche .

Avant la mise en service de cet hôpital une commission formée par le gouvernement a procédé à des expériences de réception nombreuses, et faites pour constater la marche et les résultats des appareils de ventilation. Le rapport et les tableaux qui contiennent ces résultats sont reproduits ou analysés dans ce numéro des *Annales*.

Nous rappellerons que l'on doit aussi à M. le baron de Derschau l'idée et l'exécution du premier anémomètre à compteur

électrique, dont l'emploi permet de constater automatiquement et à toute heure la régularité de la marche d'un service de ventilation; ce n'est pas un des moindres titres de cet habile et savant ingénieur à l'estime de ceux qui s'occupent de ces questions.

NOTICE *et résultats d'observations sur le chauffage et la ventilation de la maison d'accouchement de Saint-Pétersbourg, par M. le baron de Derschau.*

Jusqu'à l'année 1863, il n'existait point, en Russie, d'hôpital qui fût chauffé et ventilé rationnellement. J'ai eu le premier l'honneur d'appliquer la théorie à la pratique dans les conditions désavantageuses de notre climat.

L'effet des appareils devait être calculé pour un maximum de 52° centigrades de différence entre les températures intérieure et extérieure.

Quand j'ai été appelé à préparer mon projet, le bâtiment de la maison d'accouchement était déjà couvert; aussi ai-je été très-limité dans les dispositions à prendre afin de ne pas trop augmenter les dépenses.

Le prix du marché était de 24 000 roubles ou 96 000 francs; mais par le fait, j'ai dû dépenser 29 000 roubles ou 116 000 fr.

Par ce sacrifice volontaire, je suis arrivé à obtenir en grande partie la solution du problème dont l'application, à l'avenir, donnera des résultats très-utiles, sous le rapport de l'hygiène des hôpitaux en Russie.

Le rapport ci-joint sur la maison d'accouchement de Saint-Pétersbourg peut être compris sans les dessins, au moyen des détails particuliers qui suivent :

Il y a dans cet établissement, pour les femmes en couches, cent lits qui sont distribués dans les deux étages supérieurs que nous nommons troisième et quatrième étages. Dans le deuxième étage, se trouvent les appartements destinés à 50 élèves sages-femmes avec leurs dortoirs, réfectoires et salles d'infirmerie. Il y a aussi dans cet étage les salles d'admission des malades.

Le premier étage (qui est véritablement ce qu'on nomme en France le rez-de-chaussée) est occupé par les gens de service et les neuf calorifères qui chauffent et ventilent l'hospice.

Ces calorifères ne contiennent dans leurs chambres, ainsi que

dans leurs foyers, aucune pièce métallique. Ils sont construits en briques réfractaires, et, pour donner à l'air de ventilation le degré d'humidité convenable dans le haut de la chambre de chaque calorifère, on a disposé une nappe d'eau d'une surface de 9 mètres carrés.

L'air extérieur est pris dans le jardin à la hauteur de 3 mètres et communique par des galeries souterraines avec le bas des chambres des calorifères.

L'évacuation de l'air vicié se fait par huit cheminées d'appel partant du grenier. A ces cheminées viennent aboutir tous les caniveaux de ventilation qui ont leurs ouvertures dans les pièces à ventiler près du plancher de chacune de ces pièces, pour tout le temps de chauffage. Ces caniveaux de ventilation s'ouvrent près du plafond pour la ventilation d'été, et dans les cas où il faut abaisser la température de la chambre[1].

Les dimensions des cheminées d'appel sont calculées de manière que la ventilation normale de 50 mètres cubes par heure et par lit s'obtient naturellement par les différences des températures extérieure et intérieure jusqu'à la limite de 5 degrés centigrades au-dessus de zéro. Quand la température extérieure est supérieure à 5 degrés centigrades, on allume des becs de gaz qui sont disposés dans chaque cheminée et qui brûlent jour et nuit.

Le combustible employé pour le chauffage des calorifères est le bois de pin qui contient encore 30 p. 100 d'eau hygroscopique.

1. Je crois qu'en toute saison il est préférable de produire l'appel au niveau des planchers, parce qu'on assure ainsi un renouvellement plus complet de l'air intérieur. A. M.

EXPÉRIENCES

Sur le chauffage et la ventilation de la maison d'accouchement de Saint-Pétersbourg [1].

Rapport *de la commission nommée par son Altesse impériale le prince d'Oldenbourg pour examiner le système établi par le baron* de **Derschau**.

D'après le contrat passé, le 13 juin 1863, par M. le baron de Derschau, avec la commission chargée de la construction de la maison d'accouchement, le programme suivant a été prescrit :

1° La température intérieure doit être indépendante de toutes les variations de la température extérieure, soit pendant le jour, soit pendant la nuit, et dans toutes les saisons, dans les limites suivantes : (*a*) Dans la salle des femmes en couche de 18° à 22° centigrades; (*b*) dans les dortoirs et les réfectoires de 16° à 20°; (*c*) dans les corridors de 14° à 16°; (*d*) dans les vestibules et les escaliers de 10° à 13°.

2° Chaque appartement doit être ventilé constamment et uniformément selon sa destination. La ventilation normale par chaque lit de femme en couches est de 50 mètres cubes par heure, en comptant au troisième et au quatrième étage, cent lits; en cas de besoin, la ventilation pourrait être augmentée de manière à pouvoir fournir 90 mètres cubes par lit. Pour des froids excédant 20°, la ventilation normale peut être réduite à 30 mètres cubes, et la ventilation la plus élevée serait donc encore de 60 mètres cubes. La ventilation des dortoirs et des réfectoires qui se trouvent au second étage est fixée à 30 mètres cubes par personne. (Il est bien entendu que les volumes de ventilation sont calculés sur l'air arrivant des bouches de chaleur, directement dans chacune des chambres, et indépendamment de ce qui doit être

1. L'établissement est non-seulement destiné à contenir 100 lits de malades, mais il est habité par 50 élèves sages-femmes. Il contient donc des dortoirs pour ces élèves, des réfectoires et une infirmerie; en outre, il y a des salles d'admission pour les malades. Le rez-de-chaussée, que nous nommons ici premier étage, est occupé par les gens de service et par les neuf calorifères.

fourni pour les dortoirs et les escaliers. D'après cette condition, pour la ventilation normale, chacun des calorifères doit fournir 2 400 mètres cubes par heure, réduits à la température de zéro, quoique chacun des calorifères destinés aux salles des malades ne soit destiné qu'à 20 lits.

3° L'état hygrométrique de l'air des chambres doit être compris dans les limites de 45 à 55 p. 100 de l'état de saturation.

4° La dépense du bois pour tout le service de chauffage et de ventilation de l'établissement ne doit pas dépasser 820 sagènes ordinaires de bois court (de 8 verschoks). Soit 700 kil. $\times$ 820 = 574 000 kilog., pour 210 jours de chauffage à la température moyenne de 4° centigrades. Pour le reste de l'année, l'administration de l'hospice fournit la quantité de gaz nécessaire pour entretenir les becs destinés à chauffer l'air dans les cheminées d'appel.

5° L'essence de bois employé étant du sapin contenant 30 p. 100 d'eau hygroscopique, les appareils de chauffage doivent fournir 80 p. 100 d'effet utile, en comptant que 1 kil. de ce bois développe théoriquement 2 600 calories.

Pour contrôler les engagements pris par M. de Derschau, nous nous sommes adjoints M. le professeur de chimie, Hienkoff, et de concert avec lui, nous avons examiné tous les calorifères.

Des neuf calorifères construits dans la maison d'accouchement, huit sont destinés au chauffage et à la ventilation de tous les appartements et corridors. Le neuvième calorifère est destiné au chauffage du grand escalier et de deux grandes salles de réception.

Comme ce calorifère ne présente rien de spécial, il n'a pas été soumis à des expériences particulières.

Les huit calorifères destinés au chauffage et à la ventilation, étant placés dans des conditions à peu près identiques, nous avons choisi pour nos expériences le calorifère n° 1, qui correspond aux salles et chambres indiquées sur les plans dans les deuxième, troisième et quatrième étages par la lettre A.

Nos expériences commencées le 15 février ont duré jusqu'au 23 mars 1864, c'est-à-dire 37 jours. Voici en quoi elles ont consisté :

1° On a observé la température extérieure toutes les heures;

2° Toutes les deux heures, les températures des chambres et

des corridors correspondant à ce calorifère étaient notées; et, en outre, trois fois par jour, les températures de toutes les chambres de l'établissement et des corridors étaient également notées;

3° Toutes les deux heures, on notait les indications du totalisateur spécial de M. de Derschau, qui, au moyen d'une batterie électrique de quatre éléments de Meidinger, était en communication avec un anémomètre spécial à ailettes en aluminium et à une seule roue. Cet anémomètre était placé dans la galerie de prise d'air, à 1/3 de la base inférieure.

La formule de cet anémomètre a été établie au cabinet de physique de l'Académie des sciences par l'un de nous.

Au moyen du nombre des tours de cet anémomètre, on déterminait le volume d'air introduit dans le calorifère et pour la distribution rationnelle dans chacune des salles ou chambres, nous avons conclu nos chiffres d'après le tableau n° 4 qui a été formé en mesurant la quantité d'air arrivant par les bouches de chaleur et la température des chambres.

4° A chacun des chauffages, on notait les quantités de combustible en volume et en poids, non-seulement pour le calorifère n° 1, mais encore pour tous les autres;

5° Toutes les deux heures, au moyen de thermomètres recourbés à angle droit dont les réservoirs étaient placés dans les canaux d'air échauffé, on constatait la température de cet air;

6° Une expérience particulière a été faite pour déterminer la quantité d'air qui entrait par le cendrier du calorifère, le poids du combustible brûlé et la température des produits de la combustion, au sommet de la cheminée.

D'après l'ensemble de ces expériences, nous pouvons établir les résultats suivants :

I. Pour la première condition, relative à la température des chambres, *qui doit être dans les limites de* 18° *à* 22° *et celle des corridors de* 14° *à* 16°, le tableau n° 1 a été formé.

Dans ce tableau sont indiquées les températures moyennes, maximum et minimum, séparément, pour chacune des chambres ou salles, par période d'un chauffage à l'autre, ainsi que les températures extérieures moyennes, maximum et minimum, par chaque période.

Ce tableau embrasse un nombre de huit journées consécutives,

du 19 au 27 février 1864. Temps pendant lequel on a chauffé les calorifères neuf fois, par périodes inégales, en suivant les indications de M. de Derschau.

Les nombres de ce tableau prouvent :

(*a*) Que la température des chambres et des corridors a été presque constante, puisque les maximum et minimum diffèrent peu de la moyenne.

(*b*) Que la température intérieure variait presque imperceptiblement, malgré les grandes variations de la température extérieure.

(*c*) Que la température des chambres et des corridors du second étage était plus élevée que celle du troisième, et celle-ci plus élevée que la température du quatrième. Du reste, ces différences sont insignifiantes, et, en général, on peut affirmer que tout l'édifice est chauffé également[1].

(*d*) La température moyenne des chambres et des corridors a été constamment un peu au-dessous de celle qui est stipulée par les conditions, pour le cas où l'édifice est habité.

Cette circonstance changera évidemment quand l'hospice sera habité, attendu que chaque individu développe en moyenne 47 calories par heure, chaleur suffisante pour élever de 3° les 50 mètres cubes d'air de ventilation attribués à chacun.

II. La seconde condition porte *que la ventilation doit être de 50 mètres cubes par heure et par lit*, et que dans ce cas le calorifère *doit fournir 2 400 mètres cubes d'air frais*, volume réduit à zéro.

Dans la colonne 5 du tableau 2 sont donnés les nombres des volumes d'air admis, dans l'espace d'une heure, dans la chambre du calorifère, et qui, de là, en s'échauffant, entrent dans les canaux destinés à fournir l'air de ventilation, pénètrent par les bouches de chaleur, près du plafond, et se trouvent ensuite extraits par l'appel des cheminées d'évacuation dont les orifices sont placés près du plancher.

1. Les tableaux montrent que, sur 21 observations, les températures du troisième étage ont été :

Deux fois supérieures, quinze fois inférieures, quatre fois égales à celles du troisième.

Au quatrième étage :

Huit fois supérieures, neuf fois inférieures, une fois égales à celles du deuxième.

Ces nombres sont toujours supérieurs à 2400 mètres cubes, à ce point que, d'après le tableau 4, le volume d'air frais par lit et par heure s'élève à 109 mètres cubes [1]. Par conséquent, sous ce rapport aussi, les calorifères suffisent aux conditions de ventilation normales; elles surpassent même les exigences extrêmes qui sont fixées à 90 mètres cubes par lit et par heure.

Du tableau 2, on déduit facilement que la température des bouches de chaleur varie très-peu, dans chaque période d'un chauffage à un autre, et que cette température, même par les plus grands froids, n'a pas dépassé 47°, ce qui est un des premiers et des plus importants mérites de ces calorifères.

III. La troisième condition porte sur *le degré hygrométrique de l'air des salles.*

Sous ce rapport nos expériences ne pouvaient être complètes, par la raison que l'édifice n'était pas habité, car chaque individu fournit lui-même de la vapeur d'eau.

Pour donner dans les appartements un degré suffisant de vapeur d'eau, en rapport avec le grand volume d'air de la ventilation, on a placé sur les calorifères des bâches en zinc d'une faible épaisseur, dans lesquelles on a mis de l'eau; cette eau est versée dans les bâches par un tuyau extérieur, la surface des bâches est de $6^{mq},31$.

Le volume normal de l'air de ventilation est de 2400 mètres cubes, qui, à — 20° degrés centigrades contiennent 3600 grammes d'eau; or, l'air des chambres étant à + 18° contient, par chaque mètre cube, 6 grammes 43 centigrammes; c'est-à-dire qu'il faut ajouter pour chaque heure 11832 grammes de vapeur d'eau à l'air introduit dans les calorifères.

On sait qu'à la température de 55°, une surface d'un mètre carré, fournit dans une heure un poids de 2 kilogr. 2 dixièmes de vapeur d'eau; donc, la surface de $6^{mq},31$ peut fournir 13 kil. 882 grammes de vapeur, ou 13882 grammes, tandis que l'on n'a

1. En totalisant les résultats des observations faites pour deux chambres à quatre lits, huit du quatrième étage et dix-sept du troisième, on trouve seulement pour les volumes d'air par heure et par lit dans le premier n° 8, $97^{m},5$; dans le deuxième n° 17, $87^{m},5$.

besoin que de 11 832 grammes. D'où l'on peut conclure que l'on est dans des conditions satisfaisantes.

IV. Pour la consommation du bois de chauffage, nos expériences donnent les résultats suivants : Pendant huit fois vingt-quatre heures, on a brûlé 3 098 kil., c'est-à-dire 4sag,2 d'un bois de sapin dont la longueur est de 8 verschoks. La température extérieure moyenne était de — 7°, 7 centigrades. Ainsi, dans 210 jours, pour cette température, on aurait brûlé, au maximum $\frac{210 \times 4,2}{8}$ par 24 heures, et pour tous les huit calorifères $\frac{210 \times 4,2}{8} \times 8 = 882$ sagènes.

D'où l'on conclut qu'à la température de — 4° la consommation serait moindre que 820 sagènes.

En outre, l'administration de la maison d'accouchement nous a déclaré que du 17 février au 20 mars, c'est-à-dire pendant 31 jours, on a dépensé 137sag,5, la température moyenne étant de — 3°,5. Par conséquent, dans 210 jours, on aurait dépensé 802 sagènes[1].

V. D'après les clauses du contrat, l'effet utile des calorifères doit être de 80 p. 100 de la chaleur développée théoriquement, par le bois contenant de 25 à 30 p. 100 d'eau hygroscopique.

Dans le cas actuel, l'effet utile est représenté par la chaleur communiquée à l'air extérieur qui traverse la chambre du calorifère. Le tableau n° 2 donne les éléments du calcul.

Dans la colonne 5 de ce tableau, les volumes d'air qui entrent dans le calorifère par heure, et la température sont indiqués dans la colonne température extérieure.

La température moyenne, maximum et minimun des bouches de chaleur se trouve dans l'une des colonnes. Enfin, ce même tableau indique encore les quantités de combustible correspondant à une période de chauffage.

Toutes les expériences sont groupées en neuf périodes consécutives d'un chauffage à l'autre. Pour chaque période, on a calculé le nombre de calories absorbé par l'air. De cette manière, on obtient le nombre total de 6 591 032 calories.

1. Il faut faire remarquer que les appartements n'étaient pas habités.

Pendant ce temps, on a brûlé 3 098 kil. de bois contenant 29,8 p. 100 d'eau hygroscopique (1 kil. de ce combustible développe 2600 calories), dont l'effet théorique est de 8 044 800 calories; l'effet utile est donc de 81,9 p. 100. Comme complément de ces travaux, on a fait une expérience sur la combustion du bois dans un des calorifères et sur son effet utile. Les détails sont donnés dans le tableau n° 3. On déduit de ces nombres 81 p. 100 d'effet utile, 19 p. 100 sont emportés par les produits de la combustion dans les cheminées.

Signé : Em. Lentz, conseiller privé, membre de l'Académie des sciences, recteur de l'université de Saint-Pétersbourg; Ch. de Courbé, général major du génie militaire; Hienkoff, conseiller d'État, professeur de chimie de l'université.

Pour copie conforme :

Derschau.

TABLEAU N° 1.

Les observations exécutées toutes les deux heures sur la température des chambres et des corridors indiquent à quel point d'uniformité la chaleur est distribuée, ainsi que les variations des températures, dans chaque période d'un chauffage à un autre. Pour se rendre plus facilement compte de ces résultats, nous avons indiqué, dans ce tableau, les moyennes, les maximum et les minimum des températures pour chaque chambre à part, ainsi que pour chaque période.

Nota. Nous ne rapporterons dans l'extrait que nous donnerons du travail de la commission russe qu'un seul de ces tableaux, il suffit pour montrer le degré d'uniformité obtenu dans la température. A. M.

Première période.

Le commencement à minuit, 19 février; la fin à 6 heures après minuit, le 20 février, en tout 30 heures.

ÉTAGES.	NUMÉROS des CHAMBRES.	TEMPÉRATURE DES CHAMBRES.			TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE pendant la période.
		MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	
		degrés.	degrés.	degrés.	
4e étage..	1	15,78	16,8	15,1	Moyenne — 10°,79.
	2	16,40	17,1	16,1	Maximum — 8°,7.
	3	16,60	17,6	16,0	Minimum — 15°,9.
	4	15,57	16,0	15,0	
	Corridor .	13,34	15,5	12,2	
3e étage..	1	16,12	17,4	13,3	
	2	17,0	18,5	16,5	
	3	17,7	19,0	17,0	
	4	17,08	17,7	16,5	
	Corridor .	13,6	14,5	13,0	
2e étage..	1	17,76	19,3	17,0	
	2	17,29	19,0	16,3	
	3	16,58	17,1	15,9	
	4	»	»	»	
	Corridor .	14,26	15,0	13,5	

TABLEAU N° 2.

Pour déterminer le volume d'air frais fourni par le calorifère, il a été placé, dans la galerie de prise d'air extérieur, un anémomètre à contact électrique, et mis en communication avec la batterie galvanique et le totalisateur de M. de Derschau. La formule de l'anémomètre étant $V = 0,15086 + 0,232669\ N$, où V est la vitesse dans une seconde, et N le nombre de tours d'ailettes.

K — indication du nombre des contacts dans une heure de temps; chaque unité de la valeur de K correspond à 100 tours de l'anémomètre.

D'après ces données, on a calculé la formule indiquant directement le volume d'air admis en fonction de K, pour la section de la galerie $S = 0,069347$ mètres carrés.

Le volume d'air entré dans le calorifère en une heure

$$V = 376,6 + 16,1345\ K.$$

Ces volumes correspondent à des températures extérieures indiquées dans la colonne température extérieure.

Sachant exactement le volume d'air extérieur admis, ainsi que les températures de l'air à sa sortie des bouches de chaleur, il est facile de déduire le nombre des calories fournies par le calorifère.

A cet effet, dans les tableaux suivants, on a pris pour base du calcul, pour chaque période séparément :

1. La température moyenne des bouches de chaleur t;
2. La température moyenne de l'air extérieur T;
3. Le volume moyen d'air extérieur admis au calorifère V.

D'où il résulte que le nombre de calories fournies par le calorifère dans une heure $C = \frac{V}{1 + aT} . 1{,}293 . 0{,}237 (t - T)$.

1,293 étant le poids, en kilogrammes, d'un mètre cube d'air à 0° et à la pression normale de 760 millimètres.

0,237 la chaleur spécifique de l'air.

$a = 0{,}00366$ coefficient de dilatation de l'air.

Nota. Nous ne reproduisons dans cet extrait du travail de la commission Russe que le tableau relatif à la première période d'observations qui a duré 30 heures, et nous résumons les résultats des huit autres.

Première période.

Le commencement à minuit, 19 février; la fin à 6 heures après minuit, 20 février. En tout, 30 heures.

Combustible dépensé = 324 kilogrammes bois de sapin.

HEURES.	k Nombre de contacts	V Volume d'air admis.	TEMPÉRATURE des bouches de chaleur. Moyenne.	Maximum.	Minimum.	TEMPÉRATURE extérieure.	CALORIES développées PAR LE CALORIFÈRE.
Minuit.		m c.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	
12	»	»	28,45	33,0	27,0	— 9,5	
1	159	2942				— 9,5	
2	159	2942	29,10	30,9	27,0	— 9,8	
3	162	2992				— 9,8	
4	162	2992	33,75	36,0	31,0	—10,0	
5	166	3055				—10,4	
6	162	2992	34,07	36,0	31,5	— 9,5	$C = \frac{V}{1+\alpha T} \cdot 0,306 \cdot (t-T).$
7	159	2949				— 9,9	
8	165	3039	33,67	35,4	31,1	— 9,9	$C = \frac{V}{1-0,00366 \cdot 10,8} \cdot 0.306 \cdot 44°,7.$
9	165	3039				— 9,4	
10	164	3023	32,42	34,0	30,4	— 9,0	= 42606 calories. — Et en 30h
11	154	2861				— 8,7	1278180 calories.
Midi..							
12	155	2877	34,98	37,8	32,0	— 9,6	
1	173	3168				—10,5	
2	155	2877	40,60	43,0	37,0	—10,4	
3	173	3168				—10,4	
4	170	3119	40,65	42,8	36,4	—11,0	
5	182	3303				—12,0	
6	162	2992	39,25	41,1	35,8	—10,8	
7	162	2992				—10,5	
8	157	2910	37,79	39,6	35,0	—10,0	
9	162	2992				—10,5	
10	158	2927	35,98	38,0	34,0	—11,0	
11	155	2877				—11,0	
Minuit.							
12	157	2910	34,10	36,0	32,3	—11,4	
1	156	2894				—12,0	
2	155	2877	32,00	33,7	30,9	—12,9	
3	155	2877				—13,4	
4	158	2927	29,45	31,0	28,0	—14,6	
5	163	3007				—15,9	
6	167	3071	26,41	27,9	25,0	—16,8	
30h	Moyenne	2986	33,09			—10,8	

Résumé des résultats des observations relatives à l'effet utile calorifique obtenu à l'aide des appareils de chauffage :

DURÉE DES OBSERVATIONS		VOLUME d'air introduit. — Moyenne par heure.	TEMPÉRATURE MOYENNE		NOMBRE moyen d'unités de chaleur introduites par heure.	POIDS de bois de sapin dépensé.
Numéros d'ordre.	Durée.		extérieure.	de l'air introduit.		
	heures.	m. c.	degrés cent.	degrés cent.	cal.	kil.
1	30	2986	—10.8	33.9	1278180	324.0
2	15	2650	—15.0	32.0	727000	406.5
3	8	2700	—19.8	33.0	368248	406.5
4	22	2279	—12.6	39.0	830480	313.0
5	24	2408	— 6.5	36.0	770496	385.6
6	20	2621	— 5.8	33.3	641140	327.0
7	22	2483	— 4.8	32.0	626890	327.0
8	30	2603	— 0.52	32.72	810840	327.0
9	20	2926	— 0.27	30.30	537980	282.0
	8 jours 2h				6591254	3098.6

Il en résulte que pendant les neuf périodes qui ont duré 8 jours et 2 heures, on a dépensé 3 098 kilogrammes de bois de sapin, qui ont développé théoriquement en comptant par kilogramme 2 600 calories, en tout 8 056 360 calories, et qu'en même temps de ce nombre, 6 591 254 calories ont été absorbées par l'air de ventilation ; de manière que ce calorifère produit 81,9 p. 100 d'effet utile.

TABLEAU N° 3.

Pour déterminer l'effet utile du calorifère, on fait l'expérience suivante :

(1) Au moyen de l'anémomètre à contact, placé au milieu de la section du cendrier, en évaluait le volume d'air qui entretenait la combustion.

(2) Un thermomètre à mercure recourbé à angle droit dont le réservoir était placé constamment dans la cheminée indiquait, toutes les cinq minutes, la température des produits de combustion qui s'échappaient par la cheminée.

(3) La température du foyer étant de 1140° et la couleur de la flamme blanche, on pouvait admettre : 1° que la combustion des gaz qui s'échappent était complète ; 2° que la quantité du bois consumé dans une unité de temps était proportionnelle au volume d'air admis par le cendrier. On a pu déterminer la quantité et la nature des produits de la combustion, et sachant leur température, on déduit le nombre de calories emportées par la cheminée.

HEURES et durée des observations.	NOMBRE de tours des ailettes.	VOLUME d'air admis dans le cendrier.	TEMPÉRATURE des produits de la combustion.	NOMBRE de calories emportées par les produits de la combustion.	OBSERVATIONS.
12 heures.		mc.	t.		
5 minutes.	500	22.19	46.6	457	
10 —	1800	63.79	101.6	2824	
15 —	2700	92.29	144.4	5806	
20 —	3200	108.59	160.8	7607	
25 —	2400	82.99	171.2	6189	
30 —	2700	92.99	180.2	7318	
35 —	2400	82.99	186.8	6752	
40 —	2800	95.79	191.4	7987	Pendant ces 5 minutes la porte du foyer est restée constamment fermée.
45 —	2200	76.59	196.4	6553	
50 —	2800	95.79	200.2	8340	
55 —	1800	63.79	205.6	5696	
1 heure.	1700	61.59	209.6	5599	
5 minutes.	2700	92.29	215.4	8645	Idem.
10 —	2300	79.79	217.8	7592	
15 —	1900	66.99	220 2	6420	
20 —	2600	89.39	224.4	8738	
25 —	2400	82.99	228.6	8243	
30 —	2500	86.19	231.6	8674	
35 —	2500	86.19	228.4	8561	
40 —	1500	54.19	180.6	4249	
45 —	1300	42.90	179.7	3362	

Total de la troisième colonne 1619,6 mètres cubes.

Dans le tableau ci-dessus, on trouve dans les colonnes :

(1) Nombre des tours d'ailettes de l'anémomètre dont la formule était $V = 0,15 + 0,2326\,N$. Mètres, en une seconde.

(2) Volume d'air admis par le cendrier dont la section est de 0,142 mètre carré.

(3) Température des produits de la combustion. — Elle a été déduite des observations faites à chaque minute.

(4) Nombre de calories emportées par les produits de la combustion au moyen de la formule :

$$(a.0,216 + b.0,475 + c.0,218 + d.0,244)\ (T - t).$$

où sont représentés par :

a — l'Acide carbonique produit par la combustion.

b — la Vapeur d'eau résultant de la présence de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'eau hygroscopique dans le bois.

c — l'Oxygène libre échappé à la combustion.

d — la Quantité d'azote.

t — la Température de l'air admis par le cendrier.

L'expérience a commencé à midi.

Fin des observations à 1 heure 43 minutes.

Bois de sapin employé : trois archines pesant 282 kilog.

Pendant le chauffage, toutes les cinq minutes on ouvrait la porte du foyer pour charger du bois ou attiser le feu. Pendant ces ouvertures, le nombre des tours de l'anémomètre diminuait sensiblement. Prenant les intervalles de cinq minutes dans lesquels la porte du foyer n'était pas ouverte, on voit que le volume d'air admis par le cendrier augmentait notablement et arrivait à 94 mètres cubes; de manière qu'on peut admettre que le volume total admis était de 2024 mètres cubes, au lieu de 1619,6 obtenus par le cendrier.

Prenant pour base que les 282 kil. de bois de sapin employé contenaient p. 100 :

Eau.	84,6
Carbone	99,0
Hydrogène.	12,0
Oxygène	86,0
Cendres	1,2

Par la combustion, on obtient :

Eau	192,6k
Acide carbonique	363,0

Le poids total de l'air admis étant de 2538 kil., il s'ensuit que la composition des produits de la combustion est :

Vapeur d'eau	192,6k
Acide carbonique	363,0
Oxygène.	310,0
Azote.	1954,0

La chaleur développée par les 282 kil. est, par la combustion :

Du carbone.	99 × 7800 =	772 200 calories.
De l'hydrogène libre	1,25 × 34500 =	43 125
Total		815 325 calories.

En défalquant la chaleur latente des vapeurs d'eau 192,6 × 550. . . . . . . = 105 600

Il reste . . . . 709 725 calories.

Le total de la colonne C du tableau étant 136 000 calories.

Par conséquent, les produits de la combustion ont emporté 19 p. 100 de la chaleur développée théoriquement par les 282 kil. de combustible.

TABLEAU N° 4.

Les bouches de chaleur n°s 24 et 25 se trouvent au 4e étage, dans une chambre à 4 lits, indiquée sur le plan par le chiffre 8 à droite ; le n° 28 débouche dans le corridor du même canal que le n° 24.

Les bouches de chaleur n°s 15 et 16 se trouvent au 3e étage, dans la chambre correspondante, indiquée par le chiffre 17.

La bouche de chaleur n° 5 correspond à la chambre du 2e étage.

Les orifices d'évacuation n°s 78 et 79 au niveau du plancher se trouvent, dans la chambre du 4e étage, indiquée par le chiffre 10.

Les volumes d'air admis et évacués ont été mesurés au moyen des anémomètres à contact et des anémomètrographes de M. de Derschau.

Tous ces résultats ont été obtenus par la simple différence de température, sans avoir eu recours aux becs de gaz, destinés à activer l'appel des cheminées d'évacuation.

Résumé et note sur les résultats consignés dans le tableau n° 4.

Les observations faites à l'anémomètre par la commission russe ont été exécutées de jour et de nuit, et répétées souvent plus de vingt fois dans les 24 heures, sur un même conduit,

sans que les résultats aient présenté de différences considérables.

Pour simplifier ce résumé, nous avons inséré dans le tableau suivant la valeur moyenne des résultats obtenus dans chacun des conduits des trois chambres de quatre lits où les observations ont été faites, et nous avons ensuite pris les moyennes générales des volumes d'air admis et évacué par heure, par chambre et par lit.

Résumé des observations faites à la maison d'accouchement de Saint-Pétersbourg.

DATES.	PARTIES du JOUR.	Volumes d'air moyens passés en 1 heure par les orifices					
		D'ADMISSION.				D'ÉVACUATION.	
		24 mc.	25 mc.	15 mc.	16 mc.	72 mc.	79 mc.
15	jour......	167	»	131	»	»	»
16	nuit......	171	»	129	209	»	»
	jour......	172	»	»	209	»	»
17	nuit......	174	»	»	»	»	»
	jour......	163	196	128	201	»	»
18	nuit......	160	221	140	219	»	»
	jour......	158	238	182	130	»	»
19	nuit......	161	231	181	»	»	»
	jour......	157	218	»	119	254	»
20	nuit......	153	208	»	»	263	»
	jour......	144	194	»	»	»	»
21	nuit......	176	219	»	293	»	»
	jour......	180	»	»	290	301	281
22	nuit......	178	227	»	»	264	220
23	jour......	181	»	»	»	»	»
24	nuit......	168	»	»	»	»	»
	jour......	202	»	»	»	»	»
26	nuit......	»	195	»	»	»	»
27	jour......	»	»	»	»	»	156
28	nuit......	»	191	»	»	»	»
	jour......	»	195	»	»	»	»
		164mc	211mc	149mc	209mc	270mc	219mc
Moyenne totale par chambre de quatre lits.		375		358		489	
Moyenne par heure et par lit..........		94mc.0		89mc.5		127mc.0	

Conséquences des résultats précédents.— L'examen de ce tableau montre que le volume d'air admis par heure et par lit dans les salles où les observations ont été faites, a été de 94mc0 et de 89mc5,

soit en moyenne 92^{mc}, et que le volume d'air évacué s'est élevé à 127^{mc}.

L'excès de ce dernier chiffre sur le précédent n'a rien qui doive surprendre, puisque outre l'air introduit par les conduits réservés à cet effet, il en entre toujours nécessairement par les portes et par les fenêtres, même quand elles sont doubles.

Les dispositions étant presque identiquement les mêmes dans tous leurs détails pour toutes les chambres de malades, l'on voit que dans cet hôpital de 132 lits destiné aux femmes en couches, l'on a obtenu par le seul effet de l'appel une ventilation aussi énergique et aussi régulière qu'on peut le désirer.

NOTE

SUR LES

RÉSULTATS DU SERVICE DE VENTILATION

DES AMPHITHÉATRES DU CONSERVATOIRE

pendant le semestre d'hiver 1864-65,

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Le contrôle du service de la ventilation a été fait cette année, non-seulement quant à l'uniformité de la température et de la salubrité à maintenir, mais encore par la constatation régulière des volumes d'air évacués par heure. A cet effet l'on a installé dans la galerie d'évacuation l'anénomètre à compteur électrique construit par M. Hardy et décrit au numéro 19 des *Annales du Conservatoire*, et chaque jour, pendant une heure de suite, au moment où les cours se faisaient, l'on a enregistré les nombres de tours indiqués par le compteur, pour en déduire le volume d'air écoulé.

Le nombre des auditeurs présents, ainsi que la capacité cubique de l'amphithéâtre étant également connus, il a été facile d'en conclure le volume évacué par heure et par auditeur, et le nombre de fois que l'air était renouvelé dans le même temps.

Les observations ont été continuées pendant 147 jours et plus, sans que l'instrument ait cessé de fonctionner régulièrement. Il n'a été visité et démonté qu'une seule fois, pour s'assurer si les huiles avaient conservé une fluidité suffisante, et on l'a trouvé en très-bon état. La mobilité des ailettes est restée la même, et la tare faite primitivement a pu être conservée.

La pile unique au sulfate de mercure du système de M. Marié Davy a fonctionné depuis le 16 novembre 1864 au 13 avril 1865,

ou pendant 147 jours, en y ajoutant seulement de l'eau tous les mois, et du sulfate de mercure tous les deux mois, et en nettoyant les fils conducteurs une fois par mois. La dépense qu'elle a occasionnée s'est composée principalement de sulfate de mercure, celle de zinc étant relativement très-faible. Pendant les 147 séances de cours où l'appareil a fonctionné deux heures au moins chaque fois, ce qui équivaut à 12,25 journées de 24 heures, la consommation de sulfate de mercure à 7 fr. le kilogramme, a été de 0k.100 environ, ce qui pour les 365 jours de l'année, n'occassionnerait qu'une dépense de 20,85 fr. environ. En la portant au double ou au triple pour y comprendre les autres frais et l'entretien, l'on voit qu'un pareil moyen de contrôle assurerait à bien bon marché le contrôle du service important de la ventilation dans un grand hôpital, car la dépense est tout à fait indépendante du volume d'air à évacuer.

Résultats moyens. — Nous avons fait relever exactement pendant environ 108 jours consécutifs, depuis le 20 novembre 1864 jusqu'au 13 avril 1865, les indications du compteur électrique, et en les grouppant à peu près par quinzaine, l'on a obtenu pour le volume moyen écoulé par heure les chiffres suivants :

1re quinzaine	16112	mètres cubes par heure.
2e —	17096	—
3e —	17051	—
4e —	18091	—
5e —	18230	—
6e —	19071	—
7e —	17962	—
8e —	17195	—
Moyenne générale.	17603	mètres cubes par heure.

Je dois ajouter que la régularité remarquable de ces résultats n'est nullement due à une surveillance continue de ma part, et que je me suis au contraire abstenu, avec intention, de toute action et de tout contrôle direct. Je me suis borné à recevoir chaque matin, le rapport sur les résultats obtenus la veille, quant aux températures, et quant aux nombres de tours faits par l'anénomètre. Ce rapport m'était d'ailleurs présenté par un

agent complétement étranger aux points de vue scientifiques de la question, et auquel je ne demandais qu'une lecture exacte des indications des thermomètres et du compteur, ainsi que le nombre des auditeurs. La capacité totale de l'amphithéâtre et de ses dépendances, des escaliers, des couloirs, etc., est de 2820 mètres cubes, mais celle de l'amphithéâtre même n'est que de 1990 mètres; par conséquent l'introduction d'un volume d'air de 17603 mètres cubes par heure correspond à un renouvellement de l'air répété $\frac{17603}{1990} = 8.24$ fois dans cet espace de temps.

Les variations de la température extérieure, les irrégularités dans l'activité du feu peuvent inévitablement occasionner des différences assez notables dans une pareille ventilation, et il n'est pas inutile de montrer entre quelles limites elle peuvent être restreintes à l'aide d'un contrôle convenablement organisé.

Pendant toute la durée des cours de 1864-65, ce qui correspond à une période de 147 jours, le volume d'air évacué ne s'est abaissé que quatre fois au-dessous de 14000 mètres cubes par heure. Ces minimum ont été :

Le 20 novembre 1864.	13686	mètres cubes par heure.
Le 14 janvier 1865.	13214	—
Le 24 —	13320	—
Le 8 février 1865.	13905	—
Minimum moyen.	13501	mètres cubes par heure.

Ce minimum moyen suffirait encore pour assurer un renouvellement de l'air répété :

$$\frac{13501}{1990} = 6.8 \text{ fois par heure.}$$

et pendant ces soirées même la température n'a jamais cessé d'être maintenue entre 19 et 21°; limites que l'expérience a fait connaître comme les plus convenables.

En comparant ces volumes minimum au nombre des auditeurs présents à chaque séance, l'on a reconnu que le volume d'air renouvelé par heure et par auditeur n'est descendu qu'une seule fois à 20 mètres, le 8 février, jour où, à l'inverse, les auditeurs étaient au nombre de 620 pendant le premier cours et de 700 pendant le deuxième, et que cependant la température

intérieure de l'amphithéâtre a été maintenue à 19 et à 20°. Ce qui prouverait qu'en hiver une évacuation de 20 mètres par heure et par personne serait suffisante; mais, comme il faut toujours faire la part des irrégularités de service, il me paraît prudent d'établir la ventilation de semblables locaux destinés à des réunions momentanées, sur une moyenne de 25 à 30 mètres par heure et par individu.

A l'inverse l'abaissement de la température extérieure, une activité extraordinaire du feu peuvent amener un accroissement considérable des volumes d'air évacués.

Des expériences faites en janvier 1863[1] ont déjà montré que la cheminée d'évacuation commune aux deux amphithéâtres du Conservatoire pouvait, à l'aide d'un feu actif, déterminer la sortie de plus de 35000 mètres cubes d'air par heure, ce qui, pour ces deux amphithéâtres dont la capacité est de 1990 mètres cubes pour le grand, et de 1269 mètres pour le petit, ou en tout de 3259 mètres, correspondait à un renouvellement total répété $\frac{35000}{3257} = 10.8$ fois par heure.

Sans qu'il ait été prescrit de pousser le feu plus activement qu'à l'ordinaire, il est arrivé plusieurs fois, pendant la dernière saison, que les résultats moyens et normaux ont été très-notablement dépassés et que la ventilation du grand amphithéâtre s'est élevée à 20000 mètres cubes évacués par heure. Ainsi l'on a observé :

Le 16 novembre 1864,	une évacuation de		20490	mèt. en 1 heure.
Le 20 — 1864,	—	....	24962	—
Le 10 janvier 1865,	—	....	23104	—
Le 30 —	—	....	21506	—
Le 31 —	—	....	20013	—
Le 5 février 1865,	—	....	21613	—
Le 8 —	—	....	22091	—
Le 14 —	—	....	23173	—
Le 21 —	—	....	20391	—
Le 25 —	—	....	21420	—
Le 6 mars 1866.	—	....	21294	—

Ces évacuations d'air supérieures à la marche normale, et qui

1. *Études sur la ventilation*, 2e vol., p. 37.

correspondent à un renouvellement complet, répété 10 à 11 fois par heure, n'ont jamais donné lieu à aucune observation provoquée par la sensation de courants d'air gênants, cependant elles ont parfois coïncidé avec la présence d'un nombre d'auditeurs très-inférieur à la moyenne, qui, dans ces amphithéâtres, a été pendant l'exercice 1864-65, de 530 personnes. Ainsi, par exemple, le 10 avril, jour où il n'y avait que 158 auditeurs, le volume d'air évacué étant de 21294 mètres cubes par heure, ce volume correspondait au chiffre excessif de 130 mètres par heure et par personne, et par une coïncidence singulière, la température extérieure étant de 17°, celle de l'intérieur de l'amphithéâtre, s'est élevée ce jour-là à 22 ou 23°, ce qui n'est arrivé que deux fois dans l'année.

Malgré ces circonstances anormales d'une ventilation exagérée et d'une température intérieure trop élevée, aucun inconvénient n'a été remarqué, ce qui prouve d'une part que, pourvu que des dispositions convenables soient prises pour éviter les courants d'air à l'admission, un excès d'activité dans la ventilation est sans inconvénients, et de l'autre, comme le savent les physiologistes, que c'est moins l'élévation de la température que l'absence de renouvellement de l'air qui rend si pénible le séjour des lieux non ventilés et remplis d'un public nombreux.

La galerie d'évacuation du petit amphithéâtre étant exactement disposée, quant aux dimensions et aux abords comme celle du grand, et tout étant à peu près identique, sous ce rapport, les volumes d'air évacués du premier seraient simplement les mêmes que pour le second, si l'on n'avait la précaution de tenir entr'ouverte, seulement à un certain degré, la porte de communication de ce petit amphithéâtre avec sa galerie.

Les expériences antérieures ont montré que le volume d'air extrait du petit amphithéâtre s'élevait habituellement à 12000 mètres cubes par heure, ce qui correspondait à un renouvellement répété $\frac{12000}{1269} = 9{,}45$ fois par heure, et à un volume de $\frac{12000}{360} = 33^{mc},33$ par heure et par auditeur, en supposant que l'amphithéâtre contînt 360, ce qui est à peu près le maximum.

Il suit de là que le volume d'air total moyennement extrait

des deux amphithéâtres pendant la durée des cours, doit être estimé au moins :

Pour le grand amphithéâtre à.	17000	mètres.
Pour le petit amphithéâtre à.	12000	—
Total.	29000	mètres.

La supériorité de ce résultat sur celui qui a été obtenu en 1863-64, ne doit pas être seulement attribué à l'excès d'activité que la prolongation du froid a pu naturellement donner à l'appel exercé par la cheminée, mais encore, et je le croirais volontiers, en grande partie à ce que le contrôle automatique du compteur électrique a tenu l'attention du chauffeur éveillée sur l'évacuation de l'air aussi bien que sur la modération des températures intérieures, qui avait été jusqu'alors son seul guide, et que par suite il a donné plus d'énergie au foyer d'appel.

Consommations. — La consommation totale de charbon faite pendant les 146 jours de cours et dans quelques séances particulières au nombre de 14, par conséquent en 170 séances de quatre heures de chauffage environ a été de 22850 kilog.; de charbon (2750 kil.), de briquettes (20100 kil.), soit 134 kilog. par soirée ou 33k,5 par heure.

La dépense a été pour 2750 kilog. de charbon à 44 0/0.	121 f. 00
La dépense a été pour 20100 kilog. de briquettes à 39 0/0.	793 95
Total.	914 95

ou de $\frac{914.95}{170} = 5$ fr. 18 par soirée de quatre heures, tandis qu'en 1863-64, la consommation totale n'avait été que de 18000 kilog. ou de 106 kilog. par soirée.

Le volume d'air évacué par heure étant de 22850 mètres cubes, et la consommation de charbon de la cheminée de 33k,5 par heure, le volume d'air évacué par kilogramme de combustible a été de $\frac{22850}{33,3} = 682^{mc}$ par kilogramme.

Ce chiffre inférieur à celui que l'on obtient dans un service régulier, tient évidemment d'ailleurs à ce que le chauffage ne

dure que quelques heures, et qu'une partie de la chaleur développée par le combustible est chaque jour inutilement employée à échauffer les parois de la cheminée.

Les observations des températures faites tous les soirs en bas, au milieu et à la partie supérieure des amphithéâtres, ont montré qu'à de très-rares exceptions près ces températures ont toujours été comprises entre 19 et 21°.

Dans le grand amphithéâtre, que je regarde comme le seul où la ventilation soit établie dans des conditions convenables, il n'est arrivé que neuf fois que la température ait atteint 22° dans des soirées où il y avait plus de 600 auditeurs.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que pendant l'exercice 1864-65, dont il est ici question, le nombre des auditeurs, qui ont assisté aux 147 séances de leçons données au Conservatoire, s'est élevé à 191886, et a dépassé de 20398 celui des auditeurs de 1863-64, qui était de 171486. Dans le grand amphithéâtre le nombre moyen des auditeurs a été pour les sept cours, qui y sont professés, de 530 par séance.

Un tel accroissement dans la fréquentation explique suffisamment la légère augmentation de dépense qu'on a dû faire pour donner à la ventilation l'activité nécessaire.

L'hiver de 1864-65 ayant été exceptionnellement long et rigoureux, la consommation du combustible, tant pour le chauffage que pour la ventilation, a dépassé les limites ordinaires. Elle a été pour le grand amphithéâtre :

Chauffage.	35650 kilog.
Ventilation	22850 —
Total.	58500 kilog.

La capacité totale du bâtiment de l'amphithéâtre et de ses dépendances chauffées et ventilées étant de 2820 mètres cubes, cela revient pour chacun de 170 jours de service à 344 kilog. de combustible consommés par jour, ou à 13 fr. 75 environ par soirée de quatre heures.

Il convient même de dire que, dans ce compte approximatif, l'on n'a pas fait entrer le cours d'arboriculture, qui a lieu le jour et comprend une vingtaine de leçons.

Il ne sera sans doute pas inutile pour les Ingénieurs de faire

connaître le relevé complet des consommations de combustible faites pendant les 170 jours de service, dont il a été ici question pour tous les bâtiments du Conservatoire.

Les bâtiments chauffés ont les capacités suivantes :

1 bâtiment d'administration.	780^{mc},51
2 bâtiment du portefeuille et galerie chauffée.	3693 ,54
3 grand amphithéâtre et dépendances.	2819 ,14
4 bibliothèque.	9208 ,86
5 petit amphithéâtre.	1534 ,90
Total.	18036^{mc},95
Les bâtiments 1, 2, 4 et 5 sont chauffés toute la journée, le grand amphithéâtre ne l'étant que pendant quatre heures, nous ajouterons à son volume deux fois sa valeur, soit	5638^{mc},30
et nous calculerons ainsi sur un volume total de.	23675^{mc},25

chauffé pendant douze heures. Dans ce volume sont compris les deux amphithéâtres cubant ensemble 4354^{mc},05 ou un cinquième de la totalité, lesquels sont ventilés.

La consommation totale de combustible a été pendant 170 jours de 142460 kilog., déduction faite des 22850 kilog. employés à produire l'appel de la cheminée de ventilation.

Cette consommation revient donc à $\frac{142460}{170} = 338$ kilog. par journée de 12 heures pour une capacité de 23675 mètres cubes, ou $\frac{838}{23675} = 35^{kil},4$ par mille mètres cubes de la capacité, et par 12 heures.

Or, il résulte de documents authentiques qu'à l'hôpital Beaujon, dont les pavillons nouveaux ont[1] 18^{m},00 de longueur, 9^{m},65 de largeur et 4^{m},50 de hauteur d'étage ou au plus pour les trois étages 2345 mètres cubes de capacité, la consommation journalière par 24 heures dans le pavillon n° 3, chauffé par des calorifères à air chaud, mais non ventilé, est d'après M. Péclet[2], de 146 kil., ou de 72 kilog. par 12 heures.

1. *Etude sur les hôpitaux*, par M. Husson, directeur de l'assistance publique, page 71.

2. *Traité de la chaleur*, 3e édition, n° 2592, page 297.

L'on voit donc que les appareils de chauffage accompagnés de ventilation fonctionnant au Conservatoire sont dans de bonnes conditions, et que dans des circonstances analogues ou peut évaluer les consommations de combustible ainsi qu'il suit :

Chauffage de 1000 mètres cubes de capacité pendant 12 heures, 35 à 40 kil.

Ventilation à raison de 1000 mètres cubes par heure d'air extrait et admis par heure et pendant 12 heures 12 à 15 kilog. de houille ou de briquettes donnant 6 à 7 0/0 de cendres.

Ces résultats de la troisième année du service régulier du chauffage et de la ventilation des bâtiments et des amphithéâtres du Conservatoire nous ont paru utiles à connaître pour les Ingénieurs, et c'est ce qui nous a déterminé à les exposer en détail.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR ÉVALUER LA

PESANTEUR SPÉCIFIQUE DES CORPS SOLIDES

PAR M. J. PERSOZ.

Dans un travail de longue haleine auquel nous nous sommes livré dans ces dernières années, et qui nous obligeait à déterminer, par les méthodes jusqu'à présent connues, la pesanteur spécifique de certaines combinaisons, comme celle de l'éther, de l'alcool avec les différents sels; des divers sels viniques, de l'urée, des cyanures, chlorures, bromures et sulfates doubles, en un mot d'une foule de substances organiques ou inorganiques, nous avons rencontré des difficultés presque insurmontables, car dans ces méthodes, à l'exception toutefois de celle qu'a imaginée le capitaine Say, et qui est une application ingénieuse de la loi de Mariotte à la mesure des volumes, on a recours à des agents tels que l'eau, l'huile, les essences, les alcools, le mercure, dont on ne peut faire usage pour les composés que nous avons signalés, soit qu'ils les altèrent, soit qu'ils ne les mouillent point comme le mercure.

Si nous n'avons pas eu recours, dans nos recherches, à l'appareil si ingénieux (le stéréomètre) de M. Say, perfectionné plus tard par M. Hermann Kopp et surtout par M. Regnault, c'est que d'abord il entraîne à des opérations longues et délicates, et qu'en outre il ne nous aurait point permis de compter sur une évaluation suffisamment exacte dans les cas où l'air exerce quelque action sur la substance soumise à l'expérience.

Il nous fallait donc chercher une méthode d'une application à la fois plus simple et plus générale et qui offrît en même temps des garanties suffisantes.

Après bien des tentatives, la nécessité aidant, nous fûmes assez heureux pour imaginer un instrument qui, s'il ne donne pas des résultats d'une précision mathématique, nous a fourni cependant des données assez exactes pour nous mettre à même d'établir, pour ainsi dire, l'ensemble des lois qui régissent les combinaisons des corps en volumes.

Notre méthode est fondée, comme on le verra, sur le principe du déplacement des fluides.

Supposons que dans un ballon de capacité connue V, on introduise un corps de volume v. Il est évident que l'air resté dans l'appareil sera représenté par la différence

$$V - v,$$

et si nous avons les moyens de mesurer cet air, nous pourrons, par cela même, en déduire le volume v du corps.

L'appareil se compose de trois parties bien distinctes mais reliées entre elles :

La première consiste en vases de nature et de formes variables, suivant les corps dont on veut prendre la densité, tantôt des ballons *B*, *B*, *B*, *B* (fig. 1, 4 et 5), surmontés de robinets, tantôt des matras tels que *M*, ou encore des flacons bouchés à l'émeri F*f* (fig. 2).

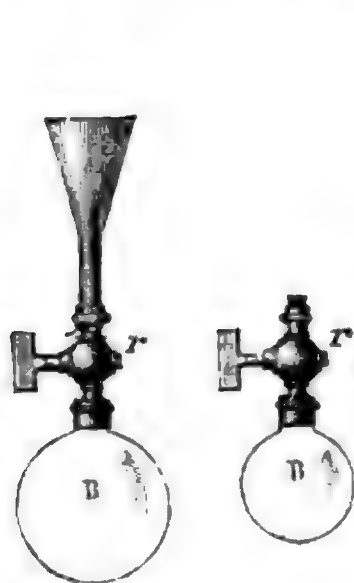




Fig. 1.





F

Fig. 2.

Pour les ballons munis de robinets, la capacité est évaluée, jusqu'à la fermeture du robinet, d'après les méthodes ordinaires.

Pour jauger les vases bouchés à l'émeri, quelques précautions sont indispensables ; après qu'on les a tarés et remplis d'eau distillée ou de mercure, dont on prend exactement la température, il faut avoir soin, pour les fermer, de faire glisser doucement le bouchon dans le col afin de n'introduire aucune bulle d'air, et d'enfoncer parfaitement le bouchon en laissant à l'excédant du liquide la facilité de s'écouler.

La seconde partie de l'appareil se compose de pièces variables en cuivre et d'ajutages en caoutchouc (fig. 3) que l'on peut employer à volonté, soit isolément, soit combinés, mais qui ont toujours pour objet de fermer la capacité dans laquelle on introduit les corps soumis à l'expérience, et aussi de faire communiquer, en temps utile, cette capacité avec la troisième partie de l'appareil.



Fig. 3.

Pour les ballons avec armature de cuivre, on fait usage de robinets R R *r r* (fig. 1, 4 et 5), surmontés d'une cuvette soit en cuivre fig. 5, soit en caoutchouc, fig. 1 et 4.

Lorsque le robinet est muni d'une cuvette en cuivre, fig. 5, il porte à sa partie supérieure un écrou qui permet d'ajuster un tube ou un matras gradué. Quand, au contraire, c'est une pièce en caoutchouc qui fait fonction de cuvette, on ajuste le tube gradué dans la partie étranglée du caoutchouc qui le met en communication avec le robinet (fig. 4). Cet arrangement, outre qu'il dispense d'un pas de vis, permet de secouer, s'il est nécessaire, le ballon inférieur, sans ébranler en aucune manière le tube gradué.

Pour les vases dépourvus d'armature, on fait usage d'un bouchon à l'émeri et d'une garniture en caoutchouc Cc (fig. 3), dont une partie (la partie renflée) est fixée au col du flacon et dont l'autre sert à maintenir le tube gradué tout en remplissant le rôle de cuvette (fig. 6).

Enfin la troisième partie de l'appareil, qui est la plus simple, consiste en tubes gradués avec le plus grand soin et de capacités diverses (fig. 4 *t*) qui servent à évaluer le volume d'air restant dans l'appareil après l'introduction du corps.

Les tubes que nous employons ne jaugent guère plus de 85 à 90^{cc}. Quand il s'agit d'estimer des volumes d'air plus considérables, nous avons recours à des matras à long col, gradués comme les tubes *tt* et qui ont de 110 à 130^{cc} de capacité (fig. 5).

Il est préférable, pour faciliter l'écoulement de l'eau, de donner au matras une forme plutôt ovoïde que parfaitement sphérique.

Pour faire comprendre l'usage de l'appareil, supposons qu'on veuille déterminer la densité du sucre candi.

Après avoir desséché avec soin l'un des ballons BBBB, on le pèse, d'abord vide, puis avec une quantité de sucre suffisante pour remplir à peu près ou même complétement la capacité du ballon. On visse le robinet à cuvette sur le matras, et on laisse l'appareil prendre la température du milieu où l'on opère. On ferme ensuite le robinet et on remplit la cuvette d'eau; puis on ajuste au ballon le tube ou matras gradué rempli d'eau. Il va sans dire que le tube gradué qu'on ajustera devra être assez grand pour recevoir la totalité de l'air dégagé. A ce moment, comme après l'explosion d'un mélange gazeux dans l'eudiomètre de Volta, l'opérateur n'a plus qu'à ouvrir le robinet pour mettre en communication les parties inférieure et supérieure de l'appareil.

L'eau du tube gradué s'écoule, tandis que l'air déplacé vient occuper la partie supérieure du tube. Quand on s'est assuré, en imprimant quelques secousses à l'appareil, que tout l'air du matras est bien expulsé, on enlève le tube gradué et on le plonge, jusqu'à coïncidence des niveaux, dans un vase suffisamment profond, rempli d'eau, afin de mesurer ce volume d'air.

Pour éviter toute correction de température, nous employons

de préférence de l'eau distillée qui a séjourné pendant plusieurs heures dans le milieu ambiant où l'on opère. Quant à la correction de pression, on peut se dispenser d'y avoir égard, vu la rapidité avec laquelle se fait l'opération.



Fig. 4.

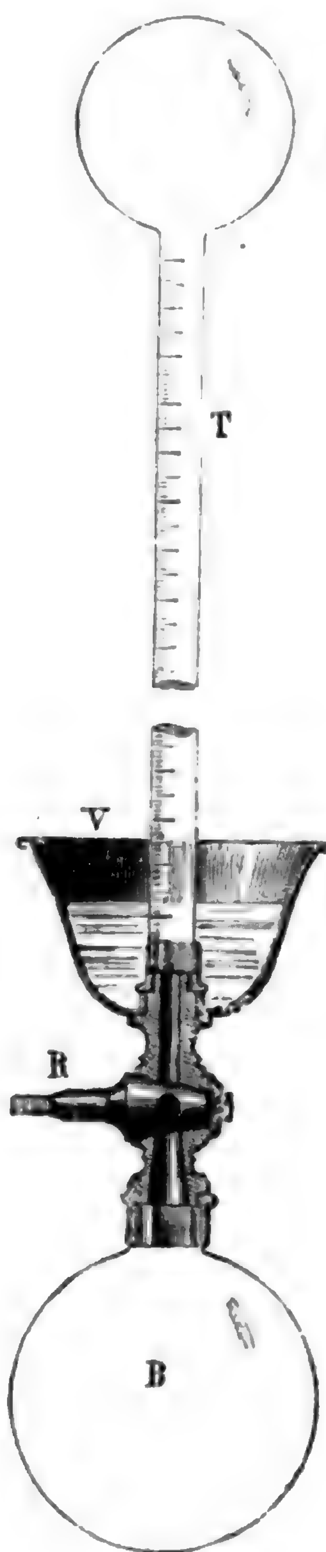


Fig. 5.

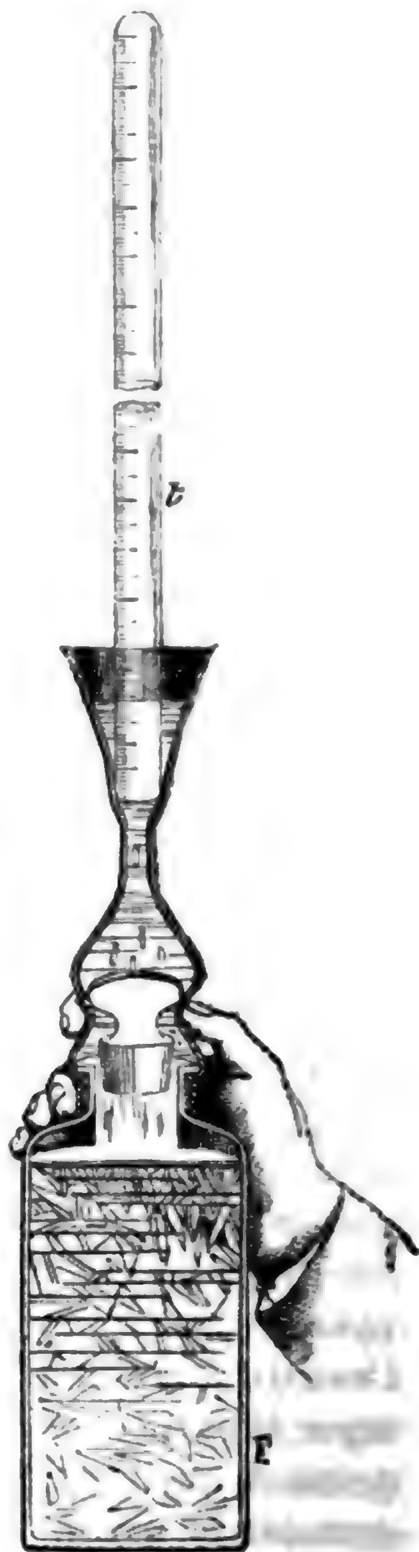


Fig. 6.

Une difficulté peut se présenter, c'est lorsque la matière renferme de l'air interposé; il est, en effet, des substances qui en

contiennent des quantités considérables. Dans ce cas il faut avoir soin de faire usage de la cuvette en caoutchouc (fig. 4) pour être à même d'agiter vigoureusement et dans tous les sens le matras, sans s'exposer à briser l'appareil, ce qui aurait lieu presque inévitablement si on avait à manier le ballon vissé au tube.

Quand l'opérateur doit expérimenter sur des corps qui ne peuvent être maniés au contact de l'air, ou qui attaquent soit le mastic, soit le métal des armatures, il devra avoir recours aux flacons en verre F*f* ou au matras *M* (fig. 2), suivant qu'il aura fallu former le corps dans le vase même, comme c'est le cas pour l'acide sulfurique hydraté cristallisé, ou qu'on devra compter sur un grand développement de chaleur par le contact de l'eau avec le corps. On comprend que l'on pourra, au besoin, prendre le poids total du flacon et de la matière qui s'y est formée, quitte à évaluer plus tard le poids du flacon et sa capacité par les moyens ordinaires.

Lorsqu'on opère de cette façon, il faut maintenir pendant quelques instants le flacon légèrement ouvert afin de laisser prendre à l'air intérieur la température et la pression du milieu ambiant. On le bouche ensuite avec soin et on le coiffe de l'armature en caoutchouc (C*c*), que l'on fixe solidement au col à l'aide d'une ligature. Enfin on remplit d'eau la cuvette de caoutchouc et on ajuste le tube gradué également rempli d'eau. Il faut alors, avec adresse, en appuyant la main sur le flacon, soulever peu à peu, avec le pouce et l'index, le bouchon à l'émeri pour faire pénétrer l'eau dans le flacon (fig. 6). Comme dans les expériences précédentes, l'air déplacé ne tarde pas à venir occuper la partie supérieure du tube gradué.

Maintenant que nous avons décrit le maniement de l'appareil, nous dirons quelques mots de l'application qu'on peut faire de notre méthode pour prendre la densité de quelques substances d'une nature chimique particulière.

Lorsqu'un corps est immergé dans un liquide, il n'abandonne complétement l'air interposé qu'il renferme qu'à condition d'être *mouillé*. Il faut donc choisir et au besoin préparer des liquides qui puissent et mouiller le corps soumis à l'expérience, et déplacer la totalité de l'air sans l'altérer en aucune manière.

C'est surtout lorsqu'on est obligé d'avoir recours, au lieu

d'eau, à l'alcool et à l'acide acétique faible pour les corps gras, résineux ou gommo-résineux, que l'on comprend toute l'utilité des garnitures en caoutchouc.

On peut encore, dans notre appareil, dissoudre certaines matières organiques par des agents convenablement choisis (la soie et la laine au moyen d'une solution alcaline concentrée), de manière à recueillir tout l'air qui s'y trouvait interposé.

Lorsque nous avons à prendre la densité de corps flottants sur l'eau, tels que les graines de certaines plantes, nous faisons usage d'un robinet muni intérieurement d'une légère toile métallique qui prévient l'ascension de la substance dans le tube gradué.

Nous donnons ici les résultats obtenus sur plusieurs espèces de céréales. Des expériences faites sur des quantités variables de grains, et dans des vases différents (blés 8 et 30), feront juger du degré d'exactitude que comporte la méthode, et qu'on appréciera peut-être mieux encore par les expériences ci-après.

La densité du nitre indiquée par beaucoup d'auteurs varie de 1,90 à 1,93. Le sel sur lequel nous avons opéré était très-pur et se présentait sous forme de longues aiguilles agglomérées. Ayant été exposé à l'air sec, il ne pouvait renfermer qu'une très-faible proportion d'eau interposée; aussi, en le fondant, il perdait moins de 1 p. 100.

Expérience sur le nitre cristallisé.

1er sel, 65gr,015, volume 32cc,00 $\frac{65,015}{32} = D = 2,02.$

2e sel, 70gr,160, volume 34cc,60 $\frac{70,160}{34,60} = D = 2,02.$

Expérience sur le nitre fondu.

1er sel, 37gr,885, volume 18cc,40 $\frac{37,885}{18,40} = D = 2,058.$

2e sel, 70gr,775, volume 34cc,40 $\frac{70,785}{34,40} = D = 2,057.$

Ces expériences font ressortir le degré d'humidité de la substance. D'autre part, le chlorure strontique est un sel qu'on ob-

tient assez facilement pur; cependant, les densités qui en avaient été données 2,80 à 2,90 conduisaient à un volume qui était en contradiction avec tout ce que nous avions observé touchant les volumes relatifs des sels de baryte et de strontiane.

On a donc préparé ce sel à l'état pur et on l'a fondu. $50^{gr},700$ de ce chlorure ayant pour volume 15 centim. cubes, sa densité se trouve être égale à $\frac{50,700}{15} = D = 3,37$, nombre bien différent des précédents, mais qui nous faisait rentrer dans les analogies que nous avons constatées.

On trouve dans la quatrième colonne le poids de l'hectolitre des grains que nous avons mesurés dans nos petits appareils gradués. Ces résultats, en si grand désaccord avec les densités, prouvent combien la méthode employée sur les marchés pour évaluer la richesse des grains laisse à désirer.

Les différences que l'on remarque dans la densité des maïs sont en relation avec les proportions plus ou moins considérables de corps gras qu'ils renferment. Voir les tableaux.

Nous avons pu constater qu'une variété de maïs (le maïs cusco) avait une densité beaucoup plus faible que tous les autres blés de Turquie, et qu'il flottait sur l'eau même après avoir été complétement privé d'air.

Si le temps ne nous avait manqué, nous aurions consigné dans cette notice les résultats des nouvelles expériences que nous avons entreprises pour mieux faire connaître toutes les applications de notre méthode.

Nos	DÉNOMINATIONS.	POIDS.	VOLUME.	DENSITÉ	POIDS de l'hectolitre.
		gr.	c.c.		k.
1	Blé de mars du parc de Versailles...	164.200	128.91	1.273	81.930
2	— de saison de la Minière........	104.600	80.40	1.300	79.540
3	— du Tremblay................	116.520	88.70	1.313	82.690
4	— des Essarts..................	113.860	87.40	1.302	80.800
5	— de Picardie..................	113.880	88.90	1.281	80.820
6	— de Dammartin..............	165.020	127.00	1.299	82.340
7	— de Montdidier...............	159.120	125.35	1.269	80.710
»	— 2e expérience................	115.500	91.20	1.266	81.970
8	— d'Ivry (Seine)...............	161.050	125.85	1.289	81.680
»	— 2e expérience................	116.020	90.10	1.287	82.340
9	— de Champagne...............	161.070	126.50	1.273	80.370
10	Idem.................	163.270	126.00	1.295	81.470
11	— des environs de Nevers........	97.600	72.00	1.355	
12	— de Saint-Thibaud (sec)........	118.750	83.40	1.459	89.620
13	Idem..... (humide)....	104.730	82.20	1.273	79.630
14	— de Saint-Pourçain (Allier).....	90.900	68.30	1.330	
15	— de Beauce..................	96.750	73.90	1.308	73 010
16	— de Montereau...............	164.170	126.30	1.299	81.920
17	— de Beauce (B)...............	110.670	84.40	1.311	83.520
18	— de Brie....................	103.300	78.60	1.314	78.550
19	— de la ferme impériale de Fouilleuse (Corbigny)...........	104.160	81.00	1.285	79.200
20	— de Bourgogne...............	115.680	87.40	1.323	82.100
21	— de la ferme de Grignon.......	114.750	87.70	1.308	81.440
22	— d'Égypte....................	101.670	79.60	1.277	76.730
23	— de Gonesse..................	67.020	50.70	1.321	
24	— de mars, rouge barbu.........	164.250	125.95	1.304	83.310
25	— Richelle, Blanche de Naples....	118.430	89.60	1.321	84.050
26	— Touzelle Anone..............	81.240	61.50	1.320	
27	— Carré de Sicile..............	144.400	111.50	1.295	
28	— de Haie....................	163.500	125.60	1.301	
29	— de Browuk's................	103.070	79.00	1.304	77.780
30	— Pictet.....................	159.950	124.55	1.282	81.130
»	— 2e expérience........	114 700	89.60	1.281	81.405
31	— Doniol.	166 680	125.95	1.323	77.780
32	— de Noe	166.920	127.15	1.312	84 660
»	— 2e expérience...............	117.810	90.10	1.307	83.610
33	— de Rubelle de Grignon........	117.850	91.35	1.290	83.645
34	— Épeautre de mars............	77.900	83.10	0.937	
35	— du Caucase amélioré.....	155.870	117.10	1.330	
36	— Épeautre, blanche barbue......	71.450	72.90	0.980	
37	— Herisson..................	172.980	130.10	1.329	87.737
38	— Victoria de mars............	106.180	79.50	1.335	
39	— du Cap, à large feuille........	166.980	122.35	1.364	84.695
40	— Blood Red.	164.820	121.55	1.323	83.600
41	— de mars, barbu de Toscane....	116.810	89.80	1.300	82.900
42	— Red Chaff Dantzick...........	102.750	78.40	1.315	
43	— de Hongrie..................	106.150	79.10	1.341	
44	— Spalding....................	106.130	81 10	1.308	
45	— rouge de Hongrie...	164.320	127.20	1.291	
46	— Chiddam....................	150 980	113.40	1.331	
47	— Prince Albert...............	247.530	186.05	1.330	
48	— Épeautre ordinaire.....	73.310	75.60	0.960	
49	— de Hunter.	80.780	61.50	1.311	
50	— rouge, barbu de Skerrelfs......	80	60.30	1.326	

Nos	DÉNOMINATIONS.	POIDS.	VOLUME.	DENSITÉ	POIDS de l'hectolitre.
		gr.	c.c.		gr.
51	Blé Épeautre en grain double	61.26	56.70	1.080	43.570
52	— Patanielle noir	98.50	79.60	1.237	
53	— Chiddam, blanc de mars	109.20	84.00	1.300	
54	— Victoria d'automne	248.35	186.75	1.329	
55	— Trimnia, barbu de Sicile	121.08	91.90	1.317	85.930
56	— Hickling	166.56	127.45	1.307	84.490
57	— de Miracle	160.05	128.86	1.242	79.860
58	— blanc, barbu de Skerreffs	165.60	124.00	1.335	
59	— Hallet	106.03	82.60	1.283	
60	— de Pologne	250.98	184.35	1.361	
61	— Nonette de Lausanne	160.52	121.40	1.322	
62	— de mars, barbu ordinaire	148.52	112.40	1.321	
63	— Coug de Laud	108.52	82.60	1.313	
64	— Haiyhs'-Wath prolifu	108.50	81.40	1.332	
65	— du Cap barbu	257.20	196.35	1.309	
66	— Épeautre en grain commun	69.25	75.00	0.923	
67	— de Sanmur de mars	252.35	194.05	1.305	
1	Maïs Cascarora	95.330	79.60	1.197	»
2	— King Philipp	106 200	83.00	1.279	»
3	— gros jaune	96.720	80.20	1.205	»
4	— jaune à grains longs	97.920	80.60	1.214	»
5	— à poulet	126.910	99.67	1.274	»
6	— hâtif de Thouront	98.750	76.40	1.292	»
7	— blanc des Landes	158.150	126.15	1.253	»
8	— sucré	81.410	66.70	1.220	»
9	— cusco	72.100	73.70	0.978	»
10	— géant Caragua	102.530	79.80	1.284	»
11	— dent de cheval	102.300	83.40	1.226	»
12	— quarantain	104.780	85.60	1.223	»
13	— géant jaune	99 600	79.00	1.260	»
14	— Chico	103.380	81.10	1.274	»
15	— perle	105.780	83.40	1.268	»
16	— à bec	101.160	79.50	1.272	»
1	Orge nue grosse	241.200	173.00	1.397	»
2	— céleste	255.480	182.95	1.395	»
3	— chevalière	103.390	81.20	1.271	»
4	— de Guimalay	111.700	82.80	1.349	»
5	— noire	58.300	51.50	1.131	»
6	— éventail	75.880	62.40	1.216	»
7	— à six rangs, épis long	88.030	78.50	1.121	»
8	— carrée de printemps	95.360	79.00	1.207	»
9	— hordeum vulgare manschuricum	57.250	46.30	1.236	»
10	— carrée d'hiver	72.550	58.00	1.250	»
11	— trifurquée	99.670	82.80	1.203	»
12	— escourgeon d'hiver	123.380	106.00	1.163	»
13	— perlée	88.870	63.70	1.395	»
1	Avoine de Pologne	170.860	146.00	1.173	»
2	— hâtive d'Étampes	72 320	65.20	1.109	»

Nos	DÉNOMINATIONS.	POIDS.	VOLUME.	DENSITÉ	POIDS de l'hectolitre.
		gr.	c.c.		gr.
3	Avoine blanche de Hongrie.......	77.930	66.70	1.167	»
4	— noire d'hiver............	164 590	131.15	1.255	»
5	— noire de Brie...........	75.420	72.50	1.040	»
6	— jeanette................	70.730	64.50	1.097	»
7	— Hopetoun................	114.970	110.65	1.039	»
8	— Géorgie.................	167.750	155.15	1.081	»
9	— courte..................	65.580	62.60	1.047	»
10	— patate..................	65.380	59.10	1.106	»
11	— noire de Hongrie.........	71.350	68.50	1.041	»
12	— Victoria................	137.650	135.95	1.012	»
13	— d'hiver.................	69.230	59.80	1.159	»
1	Sorgho à balais................	98.270	88.90	1.105	»
2	— à sucre................	77.200	82.70	0.933	»
3	— noir..................	21.498	21.00	1.022	»
1	Seigle de mars................	83.520	62.00	1.347	
2	— grand de Russie......	87.770	67.20	1.306	»
3	— commun..................	110.920	83.10	1.334	»
4	— de Rome.......	102.050	76.20	1.339	»
5	— Multicaule..............	103.085	78.00	1.322	»
1	Sarasin de Tartarie	128.450	117.65	1.091	
2	— noir..................	98.370	89.50	1.099	
3	— argenté...............	197.700	176.00	1.123	»
1	Millet noir....................	133.260	116.90	1.140	»
2	— blanc........	114.550	113.60	1.008	»
1	Panis d'Italie.................	100.870	96.90	1.040	
1	Moha de Hongrie...............	120.320	109.30	1.100	»
1	Alpisse..................	108.150	89.90	1.203	»
1	Haricot Soissons...............	145.220	119.80	1.212	»
2	— coco blanc..............	82.480	66.90	1.232	»
3	— coco rouge.............	97.480	75.40	1.292	»
4	— nain..................	80.980	64.30	1.259	»
1	Pois ronds.....................	76.920	58.40	1.317	»
2	— cassés..	103.950	77 50	1.341	»
1	Lentilles grosses...............	64.780	46.80	1.382	
2	— petites...............	78.100	57.20	1.365	»
1	Graine de lin..................	65.750	57.80	1.137	»

SUR LA NOUVELLE LÉGISLATION

DES MACHINES A VAPEUR.

PAR M. TRESCA.

L'établissement des chaudières et des machines à vapeur était jusqu'ici soumis aux obligations de l'ordonnance du 22 mai 1843, dont les prescriptions ont ainsi régné pendant plus de vingt ans. Un nouveau décret, en date du 25 janvier 1865, vient de modifier d'une manière radicale le régime de tous les appareils de ce genre; et, en donnant à la liberté du constructeur de nouvelles franchises, le nouveau règlement lui fait assumer une plus grande et plus sérieuse responsabilité.

L'importance de ce changement, l'accueil favorable qui lui a été fait par le public intéressé, nous ont engagé à présenter, aux lecteurs spéciaux des Annales, quelques observations à ce sujet. Un remaniement de la législation était considéré depuis longtemps comme nécessaire, et l'Exposition universelle de 1862, en forçant nos industriels à établir un parallèle entre leurs constructions et celles de nos voisins, avait donné à cette nécessité un caractère plus urgent encore.

Voici ce que l'examen comparatif nous avait conduits à indiquer, dans le rapport sur les machines à vapeur que nous avions été chargés de faire, M. Luuyt et moi, comme membres du jury :

« Les chaudières des locomobiles anglaises, moins favorables peut-être, au point de vue de la production économique de la vapeur, sont, en général, plus légères que les nôtres. Elles ne seraient pas tolérées en France avec les épaisseurs dont on se contente actuellement pour les feuilles de tôle qui les composent; mais il y a tout lieu d'espérer, pour ces chaudières comme pour les autres, qu'une réglementation plus libérale, dont l'administration s'occupe en ce moment, viendra enfin substituer, chez nous,

un système d'épreuves modérées au régime complexe des essais actuels, et réduire, à ce qui est raisonnable, les dispositions relatives à l'épaisseur, dispositions qui sont si rigoureuses pour les parties cylindriques, tandis que les parties planes, et, par conséquent, les plus dangereuses, ne sont assujetties qu'à la première de ces conditions. Les locomobiles anglaises ne pourraient aujourd'hui entrer en France par suite de ces règlements qui, de leur côté, augmentent assez le prix de revient de nos locomobiles françaises pour leur fermer absolument le marché anglais. »

Nous ajoutions comme conclusion : « Ce qui plutôt empêcherait l'égalité du prix des machines construites, c'est notre réglementation actuelle qui soumet les épaisseurs des tôles et les emplacements des chaudières à des épreuves et à des conditions qui se traduisent par une augmentation non motivée dans la dépense. »

Aujourd'hui ces causes d'inégalité ont disparu, grâce à la libéralité du nouveau décret; mais il est encore plus important d'examiner la portée de ses dispositions quant aux conditions de responsabilité et de sécurité.

Les premières lignes du rapport de la commission montrent tout d'abord l'extrême importance de la question, puisque le nombre des chaudières à vapeur a quadruplé en France depuis 1850, et que les 22516 machines existant aujourd'hui représentent une force normale de 617890 chevaux-vapeur, c'est-à-dire qu'elles produisent une quantité de travail « supérieure à celles de tous les hommes en état de travailler qui existent dans le pays. »

Les principales modifications résultant du décret du 25 janvier sont relatives soit aux conditions d'autorisation, soit aux détails de construction.

En ce qui concerne l'établissement d'une chaudière à vapeur, il suffit maintenant d'une simple déclaration, qui remplace avantageusement toutes les formalités de la demande en autorisation et de l'enquête qui en était inséparable.

Les articles 10 et 11 sont ainsi conçus :

Art. 10. Les chaudières à vapeur destinées à être employées à demeure ne peuvent être établies qu'après une déclaration au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte.

Art. 11. La déclaration fait connaître :

1° Le nom et le domicile du vendeur des chaudières et leur origine;

2° La commune et le lieu précis où elles sont établies;

3° Leur forme, leur capacité et leur surface de chauffe;

4° Le numéro du timbre exprimant en kilogrammes par centimètre carré la pression effective, maximum, sous laquelle elles doivent fonctionner;

5° Enfin, le genre d'industrie et l'usage auxquels elles sont destinées.

Cette simple déclaration faite, l'industriel est maintenant en droit de faire fonctionner sa chaudière; mais il est obligé, sous sa propre responsabilité, de satisfaire aux conditions d'emplacement et de construction qui lui sont imposées par les articles suivants.

Pour ce qui concerne l'emplacement, le nouveau règlement a conservé la classification en diverses catégories, en prenant pour bases la capacité de la chaudière et la pression; seulement le nombre des catégories a été réduit de 4 à 3; et, pour chacune d'elles, les exigences ont été, de beaucoup, diminuées. Dans les deux règlements, le mode de calcul est le même : on multiplie la pression réelle de la vapeur (en atmosphères ou en kilogrammes par centimètre carré), par le volume en mètres cubes de la chaudière avec ses tubes bouilleurs ou réchauffeurs, *mais sans y comprendre les surchauffeurs de vapeur*.

La chaudière est de première catégorie quand le produit est plus grand que 15.

De 5 à 15, la chaudière est rangée maintenant dans la deuxième catégorie qui comprend ainsi les catégories 2 et 3 de l'ancien règlement (de 3 à 15).

Enfin, la troisième catégorie comprend toutes les chaudières pour lesquelles le produit est au maximum de cinq, c'est-à-dire tous les appareils qui appartenaient soit à la quatrième catégorie, soit aux limites de la troisième.

Dans chacune d'elles les obligations sont d'ailleurs bien réduites, quand elles ne sont pas entièrement supprimées par la disposition de l'art. 16 qui est ainsi formulé :

Art. 16. Les chaudières de troisième catégorie peuvent être

établies dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison habitée par des tiers.

Ces seuls mots affranchissent toute la petite industrie, car l'immunité qu'ils consacrent s'étend, pour les chaudières travaillant à 5 atmosphères, à toutes celles dont la capacité est inférieure à un mètre cube.

Toutes les chaudières analogues à celles des locomobiles, de 8 à 10 chevaux, sont dans ce cas; et, sous ce rapport, les chaudières tubulaires sont traitées plus favorablement que les autres; mais on peut encore obtenir, sans sortir des limites de la 3e catégorie, 8 mètres carrés de surface de chauffe, avec une chaudière à 2 bouilleurs, et ainsi alimenter une machine à vapeur de 6 chevaux. L'art. 16 peut donc se traduire en disant que toute machine de 6 chevaux et au-dessus, fixe ou locomobile, pourra être établie dans un atelier quelconque, même lorsque cet atelier fait partie d'une maison habitée.

La libéralité de cette disposition doit profondément modifier les habitudes de la petite industrie : elle est destinée à affranchir l'homme, dans le plus grand nombre des cas, de la nécessité de développer le travail moteur dont les opérations de la petite industrie a besoin, et elle doit avoir inévitablement, pour résultat, de donner un plus haut prix à son habileté manuelle et à son intelligence.

Les chaudières de la deuxième catégorie sont moins favorisées.

Art. 15. Les chaudières comprises dans la 2e catégorie peuvent être placées dans l'intérieur de tout atelier, pourvu que l'atelier ne fasse pas partie d'une maison habitée par des personnes autres que le manufacturier, sa famille et ses employés, ouvriers et serviteurs.

Ici encore on voit que le décret a voulu considérer le moteur à vapeur comme le compagnon, en quelque sorte inséparable, de toute la population manufacturière.

Ajoutons, toutefois, dans la crainte d'induire en erreur, que l'art. 17 stipule que : les fourneaux des chaudières comprises dans la 2e et la 3e catégorie sont entièrement séparés des maisons d'habitation appartenant à des tiers; l'espace vide est de 1 mètre pour les chaudières de la 2e catégorie, et de 0m50 pour les chaudières de la 3e.

Cette précaution semble accorder plus de protection à la propriété qu'aux personnes, mais il est certain cependant qu'elle était commandée par la considération des procès à éviter entre voisins.

On a, dans quelques journaux, reproché au nouveau décret de favoriser l'introduction de la machine à vapeur dans l'atelier et dans les maisons d'habitation, comme autrefois le Parlement suppliait le roi Charles IX (1563) de défendre l'usage des carrosses dans la capitale. Chaque innovation est d'abord reçue avec timidité, sinon avec inquiétude; mais, quand elle rend de réels services, elle s'impose pour ainsi dire par ces services mêmes, et le moment était certainement venu de considérer la machine à vapeur comme d'un usage général.

Si la vie des peuples civilisés accroît puissamment les dangers qui menacent la vie, il est nécessaire que ceux-là mêmes qui profitent de ces causes d'accident s'efforcent d'en diminuer les conséquences par de nouvelles et de plus sérieuses précautions. Le nouveau régime aura pour conséquence inévitable le développement d'une morale publique qui exigera de l'industriel une surveillance personnelle et continue sur sa machine à vapeur, au moins égale à celle que l'on attend du chasseur par rapport à son arme. Nous reviendrons un peu plus loin sur les moyens qui sont, dès à présent, en sa possession pour ne pas manquer, sous ce rapport, à ses devoirs.

Le décret est plus exigeant pour les appareils de la première catégorie qu'on peut, d'une manière générale, considérer comme étant supérieurs à 50 chevaux. Il s'agit alors de véritables usines, desservies par un grand nombre d'ouvriers; il s'agit en même temps de chaudières dont les explosions peuvent produire de véritables désastres. Il fallait, dans ce cas, garantir le voisinage et les ouvriers : aussi ne pourra-t-on établir ces appareils que dans des ateliers à rez-de-chaussée (art. 13), à une distance d'au moins 3 mètres des maisons voisines (article 14), avec prescription de murs de défense si cette distance est moindre que 10 mètres, et si l'axe de la chaudière prolongé rencontre le mur du voisin sous un angle plus grand qu'un sixième d'angle droit.

Si la partie supérieure de la chaudière est à un mètre au

moins en contre-bas du sol, les distances réglementaires sont réduites à moitié.

Quelle que soit l'importance des modifications apportées sous le rapport des formalités administratives et sous le rapport du voisinage, celles qui concernent le mode de construction et d'épreuve sont encore beaucoup plus radicales.

L'épaisseur du métal était réglée par une formule déduite des lois de la résistance des matériaux, cette règle est absolument supprimée; il n'en est plus parlé dans le décret du 25 janvier, mais on trouve, dans le rapport, l'indication formelle qui suit : « Quant à l'exécution même de la chaudière, à la nature des matériaux employés, à l'épaisseur des parois, elles seront laissées désormais à la disposition du constructeur, sous sa responsabilité. »

Cette responsabilité, non autrement définie, a beaucoup épouvanté les constructeurs, et elle serait effrayante en effet, si une sorte de reconnaissance des qualités de la chaudière, au moment de la livraison, ne venait forcément la restreindre dans une proportion considérable, dont, en définitive, les tribunaux seront les suprêmes appréciateurs. Par la force même des choses, la jurisprudence qui ne manquera pas de se former, limitera ce que l'administration n'a pas voulu limiter.

Mais, dans les premiers temps surtout, les constructeurs s'affranchiront avec une timidité extrême des règles qui étaient jusqu'alors obligatoires. S'ils s'y maintiennent, les tribunaux auront peine à leur faire encourir une responsabilité pour s'être maintenus dans les règles d'excessive prudence qui leur étaient commandées jusqu'alors. Aussi feront-ils peu de modifications immédiates ; ils amélioreront peu à peu, comme des gens timorés, et résisteront aux exigences de bas prix de leurs clients par la crainte de leur garantie. Les modifications qu'ils tenteront seront ainsi rendues plus prudentes : elles exigeront l'emploi de matériaux de choix et nous ne verrons pas les dangers s'accroître par un amoindrissement simultané des conditions de résistance et de la qualité des matières.

Les craintes des fabricants seraient telles qu'ils n'oseraient apporter aucune modification essentielle au mode de construction actuellement usité, si leurs intérêts n'étaient, en grande partie, sauvegardés par la stipulation de l'article 2.

Art. 2. « Aucune chaudière neuve ou ayant déjà servi ne peut être livrée par celui qui l'a construite, réparée ou vendue, qu'après avoir subi l'épreuve prescrite ci-après.

« Cette épreuve est faite chez le constructeur ou chez le vendeur sur sa demande, sous la direction des ingénieurs des mines ou, à leur défaut, des ingénieurs des ponts et chaussées, ou des agents sous leurs ordres.

« Les épreuves des chaudières venant de l'étranger sont faites, avant la mise en service, au lieu désigné par le destinataire dans sa demande. »

Voilà donc une intervention administrative qui, dans l'intérêt public, vient constater que l'appareil a satisfait à certaines épreuves réglementaires.

Cette intervention sera invoquée, suivant nous, dans tous les procès en responsabilité, car le vendeur aura réellement quelque raison de dire que si sa construction avait été défectueuse, elle n'aurait pas satisfait aux conditions des épreuves réglementaires.

Il ajoutera à ce moyen, déjà par lui-même très-puissant, que rien n'a empêché l'acheteur d'abuser de l'appareil qu'il a gouverné seul, et auquel il a pu demander par instant au delà de ses forces. En fait, sa responsabilité ne sera réellement effective que pour des accidents qui surviendraient à peu de distance de la livraison et pour des malfaçons dont l'évidence apparaîtrait, sans conteste, par l'étude des circonstances de l'accident.

Hors de là, sa responsabilité ne sera vraiment engagée d'une manière sérieuse que s'il a été trop hardi dans ses innovations ou si la construction a été trop peu surveillée.

Les conditions d'épreuve ont été notablement amoindries.

D'après l'ordonnance de 1843 la pression d'épreuve variait suivant les cas; mais elle n'était, pour les machines fixes, jamais inférieure au triple de la pression effective, c'est-à-dire de la pression réelle dans la chaudière, diminuée d'une atmosphère.

Sous le régime du nouveau décret, on prend encore la pression effective pour base de la pression d'épreuve, mais celle-ci est réglée de la manière suivante :

Art. 3. « L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression effective double de celle qui ne doit pas être dépassée dans le service, toutes les fois que celle-ci est comprise entre

un demi-kilogramme et 6 kilogrammes par centimètre carré inclusivement.

« La surcharge d'épreuve est constante et égale à un demi-kilogramme par centimètre carré pour les pressions inférieures et à 6 kilogrammes par centimètre pour les pressions supérieures aux limites ci-dessus.

« L'épreuve est faite par pression hydraulique.

« La pression est maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de toutes les parties de la chaudière. »

La rédaction de cet article n'est peut-être pas aussi claire qu'on pourrait le désirer, mais elle implique cependant une solution différente dans trois cas bien distincts :

1° Si la pression effective est inférieure à 1/2 kilogramme par centimètre carré (machine à basse pression et condensation), la pression d'épreuve sera égale à la pression effective, augmentée de 1/2 kilogramme;

2° Si la pression effective est comprise entre 1/2 kilogramme et 6 kilogrammes par centimètre carré, la pression d'épreuve sera double de cette pression effective;

3° Si la pression effective est supérieure à 6 kilogrammes par centimètre carré, la pression d'épreuve sera égale à cette pression effective, augmentée de 6 kilogrammes.

Le second cas comprend, dans la pratique actuelle, la presque totalité des machines fixes, en telle sorte qu'au point de vue pratique on peut dire d'une manière générale que l'épreuve obligatoire à pression triple, a été réduite à une pression double seulement. Cette modification constitue certainement un grand progrès; la pression triple était fâcheuse; elle détériorait des assemblages bien faits et préparait ainsi des fuites qui n'auront plus lieu désormais.

Quant aux chaudières à basse pression qui périssent aussi souvent par écrasement que par explosion, il était bon d'exiger que la surcharge d'épreuve formât cependant une augmentation notable et de nature à inspirer toute sûreté.

On comprend moins facilement les motifs pour lesquels les appareils à pression élevée ont été plus favorisés que ceux qui fonctionnent à 6 atmosphères, alors qu'ils constituent, pour la plupart, des systèmes nouveaux ou encore peu expérimentés. Pour ceux-là, nous le pensons, il n'y aurait aucun inconvénient

à exiger aussi que la pression d'épreuve fût double de la pression effective.

On verra cependant que, dans plusieurs pays, on se contente maintenant d'une épreuve encore plus réduite.

La réussite de l'épreuve est constatée par l'apposition d'un timbre dont la présence peut être considérée comme une preuve du bon état de la chaudière au moment où l'épreuve a été faite.

A partir de ce moment, l'administration et le constructeur sont complétement désintéressés dans la question, et, il faut le dire, le propriétaire lui-même ne s'inquiète pas davantage de savoir si ces premières conditions de sûreté n'ont pas fait place à des conditions éminemment dangereuses.

L'administration n'a pas voulu intervenir dans une question qui, à partir de ce moment, est devenue pour ainsi dire domestique, et elle a livré l'industriel à toute l'insouciance qu'entraîne, dans la plupart des cas, le soin d'intérêts qui lui paraissent plus graves etplus pressants.

C'est là, sans doute, le point le plus criticable de la nouvelle législation qui ne produira vraiment tous ses fruits que si, à l'instar de ce qui se fait ailleurs, il se forme des sociétés ou même des entreprises d'assurances se chargeant de visiter fréquemment les chaudières, et de renouveler les épreuves à intervalles rapprochés.

Dans le travail de M. Paget, dont nous donnons, à la suite de ces observations, une traduction presque complète, on ne lira pas sans émotion cette règle que s'est imposée un grand industriel de Birmingham, de renouveler l'épreuve chaque année, à titre de devoir à remplir vis-à-vis de ses ouvriers. Nos industriels ne sauraient rester indifférents à un tel exemple; et, ce qu'ils auraient dû faire dans leur propre intérêt, ils ne négligeront pas de le réaliser pour n'assumer plus aucune responsabilité morale vis-à-vis du personnel qui peut, à tout instant, être décimé par une explosion inattendue.

De fréquentes visites portant sur tous les détails de la construction, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, la recommandation formelle faite au chauffeur de signaler immédiatement toute circonstance anormale, enfin un essai à la presse renouvelé au moins chaque année, tels sont les devoirs impérieux que

l'humanité impose à celui qui, en définitive, doit une protection constante à ceux qu'il emploie.

L'art. 4 est relatif à la formalité du poinçonnage.

Les articles 5, 6, 7, 8 et 9 exigent, sur toute chaudière, deux soupapes de sûreté, un manomètre, un appareil d'alimentation d'une puissance suffisante et d'un effet certain, une ligne de niveau minimum qui doit dépasser de 10 centimètres au moins la partie la plus élevée des carneaux, enfin, deux appareils indicateurs de niveau, indépendants l'un de l'autre, l'un d'eux devant, d'ailleurs, consister en un tube de verre disposé de manière à être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

Ces prescriptions ont leurs analogues dans l'ordonnance de 1853, mais les dispositions de détails qui étaient alors obligatoires sont laissées complétement à l'initiative du constructeur, pourvu que ses appareils soient efficaces.

Le principe de la responsabilité est implicitement écrit dans les articles du décret lorsqu'il dit successivement : « Chacune des soupapes offre une section suffisante pour maintenir à elle seule, quelle que soit l'activité du feu, la vapeur dans la chaudière à un degré de pression qui n'excède, dans aucun cas, la limite fixée » (celle du timbre).

« Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état..... disposé de manière à indiquer la pression effective de la vapeur de la chaudière. »

Nous avons dit déjà comment s'exprime le décret à l'égard de l'appareil alimentaire.

L'ensemble de ces conditions aura certainement pour effet d'arrêter les inventeurs dans toute substitution trop précipitée de nouveaux appareils aux anciens. Encore bien qu'elle soit entièrement libre, cette substitution ne se fera que d'après la sanction de l'expérience. L'industriel qui n'aurait pas pris à cet égard toutes les précautions commandées par une juste défiance, s'exposerait, en cas d'accident, à être considéré comme imprudent et responsable.

Nous n'entrerons pas dans le détail des exceptions permises quant à la hauteur de la ligne de niveau dans certains cas exceptionnels et facultatifs : on trouvera ces indications dans le décret ; mais nous nous arrêterons, avec plus d'intérêt, sur la

prescription toute nouvelle de l'article 19 qui a déjà soulevé de vives objections.

Art. 19. « Le foyer des chaudières de toute catégorie doit brûler sa fumée.

« Un délai de six mois est accordé, pour l'exécution de la disposition qui précède, aux propriétaires de chaudières auxquels l'obligation de brûler leur fumée n'a point été imposée par l'acte d'autorisation. »

Ce texte formel ne doit pas être séparé du paragraphe du rapport qui traite de la même question :

« L'inconvénient de la fumée est celui qui est le plus incommode aux voisins; et, depuis assez longtemps déjà l'administration est dans l'usage de prescrire à tous ceux qui veulent établir des machines à vapeur, de brûler la fumée de leurs foyers; il existe aujourd'hui divers appareils qui réalisent, au moins d'une manière approximative et à peu de frais, ce grand avantage; il est juste d'en faire jouir le public d'une manière générale au moment où l'on accorde à l'industrie des facilités aussi larges que celles qui doivent résulter du nouveau règlement. » On le voit, l'obligation n'est pas absolue ; il s'agit de brûler la fumée d'une manière approximative, et il nous semble facile, pour tous les industriels, de satisfaire, *à peu de frais*, à cette condition.

Pour tous ceux qui sont occupés de cette question, il est évident qu'il ne faut pas entendre, dans un sens purement grammatical, cette obligation de brûler la fumée qui serait réellement un contre-sens. La meilleure manière de supprimer les inconvénients de la fumée, consisterait à l'empêcher de se former, et si nous énumérions, au point de vue technique, les divers appareils qui ont résolu le problème, nous verrions que c'est bien ce but qu'ils se sont proposé. Nous ne sachions pas qu'aucun appareil ait jamais réussi à brûler utilement la fumée déjà produite.

La Société industrielle de Mulhouse qui, avec le soin qui caractérise la plupart de ses travaux, fait faire des expériences très-suivies et très-bien conduites sur les fumivores les plus en renom, s'est déjà adressée au ministre pour obtenir une prorogation de délai, fondée sur l'insuffisance des appareils expérimentés[1] :

« Malgré l'essai que nous avons fait de plusieurs appareils

1. *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, mars 1865, p. 124.

(Beaufumé, Palazot, Thierry, Chodzko, etc.), nous avouons ne reconnaître aucun moyen pratique de résoudre le problème d'une manière satisfaisante ; c'est-à-dire sans augmenter notablement le poids du combustible brûlé, ou sans exiger, de la part du chauffeur, une attention soutenue, dont il pourra bien faire preuve pendant la courte durée d'une expérience, mais qu'on ne pourra jamais obtenir de lui constamment, pendant la continuité de son travail normal. »

La Société parle ensuite de la difficulté d'obtenir la fumivorité sur les locomotives, mais le problème est, à ce point de vue, plus complexe, parce qu'il est absolument nécessaire, sur les chemins de fer, de donner à la combustion une activité qui se prête peu à une combustion parfaite.

Les observations de la Société industrielle du Mulhouse sont certainement plus fondées qu'aucune de celles qui pourraient être faites dans toute autre localité. La houille de Ronchamp, qui est, à Mulhouse, d'un usage exclusif, est très-fumeuse, et il sera sans doute très-difficile de la brûler d'une manière absolue sans fumée.

La réponse de M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics satisfait aux principales difficultés de la question.

« Que jusqu'ici on n'ait pas encore découvert un appareil fumivore qui fasse disparaître complétement la fumée, c'est ce que je n'ai, dit M. le Ministre, ni à contester, ni à admettre ; mais ce qui est constant, c'est que l'on connaît un certain nombre de mécanismes assez efficaces pour que les foyers auxquels ils sont adaptés ne donnent pas plus de fumée que les foyers des cheminées ordinaires. On peut donc considérer le problème comme à peu près résolu ; et, d'ailleurs, dans le cas où des plaintes s'élèveraient, ce seront les tribunaux que apprécieront si les propriétaires d'appareils à vapeur ont fait tout ce qui dépendait d'eux pour exécuter les prescriptions du règlement. »

Nous partagerions les appréhensions de la Société industrielle de Mulhouse, si le règlement nouveau avait imposé, d'une manière absolue, la fumivorité complète ; et encore cette prescription peut-elle aujourd'hui même être satisfaite, au prix de quelques peines et de quelqu'argent par plusieurs des appareils cités dans la lettre de la Société.

Mais quant à une fumivorité approximative, les expérimentateurs de Mulhouse reconnaîtront avec nous qu'elle peut être obtenue par presque tous les procédés et à très-peu de frais. Il suffit pour cela de ne pas surmener les appareils, de n'exiger d'eux que ce qu'ils peuvent produire avec facilité. Et, ce dont nous nous féliciterions le plus, comme conséquence du nouveau décret, c'est l'espoir de ramener les industriels à employer des appareils assez grands pour produire, sans une activité exagérée, les effets qu'on en attend. Aucune prescription ne sera plus sûre à cet égard que l'obligation indirecte où ils se trouveront de ne brûler sur leurs grilles que ce qu'ils doivent raisonnablement brûler.

L'augmentation de dépense sera toujours peu considérable et le résultat sera facilement atteint dans les limites de la convenance vis-à-vis des voisins.

Nous pensons donc que, sur ce point surtout, le nouveau décret a rendu un service important à l'industrie des machines à vapeur.

Le nouveau décret ne s'occupe pas des machines de bateaux qui feront l'objet d'une réglementation spéciale, mais il contient quelques dispositions relatives aux machines locomobiles et aux machines locomotives.

Art. 23. — « Les chaudières des machines locomobiles sont soumises aux mêmes épreuves et munies des mêmes appareils de sûreté que les générateurs établis à demeure; toutefois elles peuvent n'avoir qu'un seul tube du niveau de l'eau, en verre.

« Elles portent en outre une plaque sur laquelle sont gravés, en lettres très-apparentes, le nom du propriétaire, son domicile et un numéro d'ordre, si le propriétaire en possède plusieurs.

« Elles sont l'objet d'une déclaration adressée au Préfet du département où est le domicile du propriétaire de la machine. »

La seule rédaction de cet article montre combien la machine locomobile est devenue usuelle; les chaudières des machines de ce genre sont celles qui profiteront le plus des facilités laissées aux constructeurs sous le rapport de l'épaisseur des tôles; On y doit surtout rechercher une grande légèreté, qu'il sera désormais facile d'obtenir avec des matériaux de très-bonne qualité, surtout avec les tôles d'acier. Fonctionnant successivement sur divers points, la locomobile échappe forcément à la sur-

veillance des ingénieurs ; elle est, plus que les autres machines, destinée à être placée entre des mains inexpérimentées ; enfin, par cela même qu'elle ne fonctionne pas d'une manière continue, elle est plus exposée à des accidents au moment de la repr se du travail. Pour toutes ces causes, il nous semble qu'un renouvellement périodique de l'épreuve de réception aurait pu être prescrit avec avantage. Il n'est guère possible de compter sur la sagesse des propriétaires pour y suppléer.

L'art. 26 assimile, sous le rapport des prescriptions, les chaudières des locomotives à celles des locomobiles, et l'art. 27, en stipulant que la circulation des locomotives sur les chemins de fer a lieu dans des conditions déterminées par des règlements d'administration publique, ajoute qu'un règlement spécial fixera, s'il y a lieu, les conditions relatives à la circulation des locomotives sur les routes autres que les chemins de fer.

C'est là une question qui n'a pas fait grand progrès, bien qu'en Angleterre plusieurs compagnies se livrent à la fabrication et à l'exploitation de machines de cette espèce pour les transports de pièces très-lourdes ou pour le service des usines et des fermes isolées dans les pays de montagnes.

Nous nous étions proposé d'examiner, à propos de l'avénement du décret du 25 janvier, les conditions diverses qui doivent influer sur la durée et sur la sûreté des appareils à vapeur; mais au moment où nous mettions en ordre nos idées sur ce sujet, nous avons lu un article de M. Paget sur la même question. Cet article, qui a fait l'objet d'une lecture devant la Société des arts de Londres, nous a paru d'un tel intérêt que nous avons cru préférable de le reproduire en entier. Il forme un excellent thème de discussion ; et, bien que plusieurs des questions qu'il soulève soient traitées dans une forme essentiellement différente de celle que nous emploierions en France, nous avons cédé à un véritable désir d'être utile à nos lecteurs en leur livrant ce document, qui pourra être discuté à divers points de vue, mais qui n'en restera pas moins l'un des travaux les plus importants qui aient été publiés sur cette importante question.

Nous y puisons, dès à présent, plusieurs indications pour le second volume de notre *Traité des machines à vapeur*.

SUR LA DÉTÉRIORATION ET LES ACCIDENTS

DES

CHAUDIÈRES A VAPEUR,

PAR M. PAGET.

Traduit du *Journal de la Société des Arts*, par M. Tresca.

D'après le rapport publié par l'ingénieur de la compagnie d'assurances pour les chaudières, de Manchester, quarante-trois explosions ont eu lieu en 1864, dans cette contrée, et ont entraîné la mort de 74 personnes. L'ingénieur de la compagnie d'assurances du Midland porte à 48 le nombre des explosions, celui des décès à 65, accompagnés de 120 cas de blessures, en l'absence de toute statistique exacte. Ces chiffres sont probablement inférieurs à la vérité. Les commissaires royaux des mines métalliques font connaître que, dans les districs de Cornouailles et de Devon, les explosions de chaudières sont fréquentes[1]; et, dans ces districts à populations éparses, elles échappent facilement à la connaissance du public. D'ailleurs, les explosions qui ne produisent que des blessures, non suivies de mort, ne donnent lieu à aucune enquête judiciaire, ne reçoivent aucune publicité. Ces indications permettent bien quelques appréciations sur les accidents survenus aux personnes, mais on est encore moins fixé sur l'étendue des pertes qu'elles déterminent.

Chaque explosion tend à faire croire que beaucoup de chaudières ont été préservées par hasard et établir en même temps que les causes de destruction auraient pu être éloignées avec plus de soin et de connaissances techniques. Outre les désastres résultant de l'explosion elle-même, le mauvais état d'en-

1. Rapport des commissaires des mines métalliques, présenté aux deux chambres du Parlement par ordre de Sa Majesté, 1864, page 31.

tretien de la chaudière détermine aussi la cessation du travail et la démolition du fourneau. En ce qui concerne les causes mêmes des explosions, il n'y a, pour nous servir des expressions de Robert Stephenson, que bien peu de cas dans lesquels on ne doive les attribuer à l'affaiblissement de quelques partie de la chaudière; c'est aussi l'opinion du professeur Faraday [1]. En fait, on peut considérer, comme générale, l'opinion qui attribue les explosions plutôt à la détérioration de la chaudière qu'à l'excès même de la pression de la vapeur. Il y a, en effet, un tel concours d'actions mécaniques, physiques et chimiques, qui coopèrent à la détérioration, et, par conséquent, à la destruction de la chaudière que l'on peut affirmer qu'aucune autre construction métallique ne saurait être soumise à des conditions aussi complexes. La pression de la vapeur et l'élévation de la température dans le voisinage du foyer produisent des actions mécaniques, en même temps que les gaz de la combustion et l'eau agissent chimiquement sur les parois, suivant leurs propriétés respectives. Chacune de ces actions joue, pour ainsi dire, entre toutes les autres, dont elle suit et hâte même les progrès. Il est difficile de distinguer, avec certitude, les effets spéciaux de chacune d'elles, et c'est seulement pour nous guider dans notre examen que nous les classerons ainsi qu'il suit : 1° Effets de la pression de la vapeur; 2° action mécanique de la chaleur; 3° effets chimiques de la combustion; 4° actions chimiques de l'eau d'alimentation [2].

1. *Effets immédiats de la pression de la vapeur.*

On calcule la résistance d'une chaudière cylindrique dans l'hypothèse que les plaques sont soumises à un effort statique ou qu'elles travaillent exclusivement à la traction.

La première de ces assertions est rarement exacte, et la seconde ne l'est jamais. Les deux causes principales qui exercent des actions impulsives sur les parois d'une chaudière sont les suivantes : 1° l'arrêt brusque du courant de vapeur qui se rend de la chaudière dans le cylindre; 2° la trop grande activité du

1. Comptes rendus de l'Institution des ingénieurs civils, 1856, page 28.
2. *Id.*, 1852, page 292.

feu, nécessitée par les dimensions insuffisantes de la chambre de vapeur; souvent ces deux causes agissent en même temps. C'est à la première que l'explosion, entr'autres, de l'une des chaudières du steamer le *Parana*, à Southampton, à été attribuée, il y a quelques années, par l'ingénieur du gouvernement, chargé de l'inspection[1]; c'est à la seconde qu'il faut attribuer l'explosion de la chaudière de cuivre du yacht le comte d'Eu, en France. D'après le docteur Joule, la pression statique d'un fluide élastique serait due aux ressorts de ses innombrables molécules sur les parois du réservoir qui le retient. Lorsque le mouvement d'un courant de vapeur est soudainement arrêté, comme il l'est par le papillon, dans son trajet de la chaudière au cylindre, sa vitesse et son poids déterminent, sur les parois, une action absolument semblable à celle d'un courant d'eau, dans le bélier hydraulique[2]; Cette action est nécessairement plus marquée pour les machines dans lesquelles la vapeur est soudainement arrêtée[3] comme dans les machines de Cornouailles et les autres machines à simple effet, où les grands orifices de sortie sont clos brusquement. Elle produit des effets analogues à ceux des trépidations des couvercles des cylindres ou des oscillations des manomètres, signalés depuis longtemps par M. Josiah Parkes et par d'autres. Il y a quelques années l'auteur, placé sur une chaudière servant à l'alimentation d'une machine à simple effet, et dans laquelle la capacité de la chambre de vapeur était insuffisante, a signalé les légères trépidations de la chaudière à chacune des pulsations du piston. La même action a été remarquée par d'autres observateurs sur des chaudières dans lesquelles le volume de la chambre de vapeur n'était pas en proportion convenable avec l'étendue de la surface de chauffe. L'intensité des poussées ainsi produites instantanément ne saurait, comme l'observe M. Parkes, être mesurée avec exactitude; mais, par suite de leur fréquente répétition, elles doivent affecter plus rapidement les chaudières dans les parties les moins résistantes. La fermeture plus ou moins instantanée d'une soupape de sûreté, pendant que la vapeur

1. *Rudimentary treatise on marine engines and steam vessels*, par Robert Murray, ingénieur, inspecteur du Board of Trade, pages 74 à 78.

2. Institut des sciences de Milan, 1829.

3. Transactions de l'Institut des ingénieurs civils, volume 3.

s'échappe, doit évidemment produire le même effet, et cette appréciation est corroborée par ce fait que le plus grand nombre des locomotives, dans lesquelles il n'y a pas d'appel instantané de vapeur, comme dans les machines de Cornouailles, font explosion lorsqu'elles sont en repos à la station[1]. On ne nie pas, dans le cas d'une locomotive, que la seule accumulation résultant de la réglementation des soupapes à une pression trop élevée, n'entre également en jeu. Mais il n'y a aucun doute que la plupart des chaudières sont exposées, plus tôt ou plus tard, à des intervalles plus ou moins grands, à une action de bélier. S'il en est ainsi, cette seule considération exigerait que l'on employât un facteur de sécurité égal à 6 dans le calcul des dimensions. Les commissaires de l'application du fer aux constructions des railways, dans leur troisième conclusion, basée sur les nombreux renseignements qui ont fait, de leur enquête, le plus important travail sur la résistance des matériaux, disent que, comme on l'a démontré, pour résister aux effets d'une flexion réitérée, le fer doit à peine être plié au tiers de sa flexion extrême; et, puisque la flexion produite par une charge au repos est encore augmentée par les effets de la percussion, il paraît nécessaire que la charge maximum sur les ponts de chemin de fer, n'excède jamais le sixième du poids qui produirait la rupture de la traverse, lorsqu'on la ferait agir au centre[2].

Emerson a montré, il y a déjà 60 ans, que l'effort tendant à fendre un tuyau cylindrique, à section exactement circulaire, soumis intérieurement à la pression d'un fluide, augmente dans la proportion du diamètre et de la pression. Il a fait voir aussi que l'effort résultant de ce mode d'action, tendant à déchirer le tube longitudinalement, transversalement, ou dans tout autre direction, était égal à celui qui serait exercé sur une section faite perpendiculairement à cette direction[3].

1. Rapports des inspecteurs du Board of Trade (1850-64). Les quatre chaudières de locomotives qui ont fait explosion l'année dernière étaient aussi arrêtées. Ni les premières ruptures qui déterminent les explosions, ni les ruptures secondaires qui sont déterminées par elles ne se sont produites sur les trous des rivets.

2. Rapport des commissaires chargés de l'enquête sur les constructions des chemins de fer, XVIII.

3. L'action d'un fluide qui presse également dans tous les sens peut être évidemment représentée en intensité et en direction par d'innombrables rayons d'égale

Comme dans une chaudière, l'épaisseur du métal est très-faible par rapport à la grandeur du rayon, on a admis que la tension est distribuée uniformément sur toute la circonférence; et la charge, par unité de longueur, sur le joint circulaire transversal, étant seulement la moitié de celle qui a lieu sur les joints longitudinaux, c'est la résistance de la dernière qui a été prise pour base des calculs de la résistance des joints. Mais en prenant le diamètre intérieur de la chaudière comme point de départ, la section intérieure a été supposée parfaitement circulaire, ce qui n'est réellement possible, au point de vue pratique, que pour un cylindre alésé intérieurement, et jamais dans le cas d'une chaudière. Deux des corollaires de la première proposition d'Emerson sont négligés dans cette circonstance. Il a fait voir que si l'un des diamètres était plus grand que l'autre, il se produirait une pression plus grande dans la direction perpendiculaire au plus large diamètre, le plus grand effort tendant à écarter les parois les plus rapprochés, jusqu'à ce que la section soit devenue circulaire. Le second corollaire consiste en ce que, si un fluide élastique est contenu dans un vase flexible et capable de se distendre dans tous les sens, ce vase prendra une forme sphérique. Un grand nombre de preuves pourraient être fournies à l'appui de cette opinion, que les deux causes précédentes interviennent parmi les effets de dislocation causés par l'action directe de la pression de la vapeur

De 1850 à 1864, 44 explosions de locomotives, ayant entraîné mort d'hommes, ont eu lieu dans le Royaume-Uni. Les rapports du Ministre du Commerce inscrits dans les blue-books présentés au Parlement, et particulièrement ceux du capitaine du génie Tyler forment probablement le plus important et le plus complet exposé des explosions de chaudières. Cela est surtout vrai en ce qui concerne les détériorations causées par l'action directe de la vapeur, en dehors de l'influence du foyer, puisque l'enveloppe cylindrique, non plus que l'enveloppe extérieure de la boîte à feu, n'est pas soumise à la radiation du combustible.

longueur, qui partiraient d'un même point. C'est ainsi que l'on explique la forme sphérique des bulles de savon, ou la fabrication des boules de thermomètre que l'on obtient en les soufflant pendant que le verre est encore assez chaud pour être plastique, ou bien encore celles de ces ballons de caoutchouc qui se forment en insufflant également de l'air dans des tubes fermés à une extrémité.

Peut-être que les vibrations de la chaudière, pendant le roulement, augmentent l'effet de cette pression, mais ces vibrations ne peuvent être considérées comme la cause première des accidents. La plus grande partie des rapports sont accompagnés de très-bons dessins. Dix-huit chaudières parmi les quarante se sont ouvertes à la boîte à feu; onze ont été détériorées vers le chapeau de la boîte à feu intérieure, qui a été rejetée sur les plaques à tubes; sept ont donné lieu à des fuites des feuilles de tôle ou des bords; vingt ont éclaté par l'enveloppe cylindrique; enfin deux seulement doivent être attribuées à des causes diverses, soit par suite de l'emploi d'une plaque originairement défectueuse, soit par suite de déraillements. Laissons de côté tous les cas qui se rapportent à la boîte à feu, parce qu'ils peuvent, pour le plus grand nombre, être attribués à d'autres causes qu'à celle de la simple pression de la vapeur; les vingt autres sont caractérisés par des gerçures ou des sillons longitudinaux, parallèles à l'une des lignes de joint des feuilles de tôle formant l'enveloppe. Tous les joints qui ont ainsi donné lieu à des fuites étaient à simple recouvrement; les sillons et les gerçures (les premiers étaient de beaucoup les plus nombreux) se sont produits sur la tôle extérieure très-près de la lèvre de la tôle *intérieure*, et, par conséquent, au point même où la diminution du diamètre produite par le recouvrement devait exercer une plus grande influence par rapport à la pression de la vapeur.

Vers les déchirures, les plaques présentent des traces très-visibles de laminage dans le sens transversal et il est probable qu'une plaque de bonne matière se laminera graduellement, tandis que le métal de moindre qualité se déchire beaucoup plus rapidement. Ces sillons ne s'observent pas seulement dans le cas des joints à simple recouvrement. Les joints avec plaques à l'intérieur de la chaudière altèrent de même l'équilibre des pressions, et l'on a aussi observé les déchirures dans ce cas. Des sillons en tout semblables ont aussi été observés sur les chaudières des locomotives qui ont fait explosion en Allemagne [1], et dont les joints étaient à simple recouvrement.

De semblables sillons ont été également signalés dans les chaudières de bateaux, particulièrement dans les vieilles chau-

1. *Organ fuer die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1864, page 159.

dières; ces sillons longitudinaux paraissent environ deux fois aussi dangereux que les sillons qui apparaissent dans le sens transversal. Les plaques tubulaires des boites à fumée des machines locomotives à cylindres intérieurs ont été influencées de la même façon par les trépidations des machines, et les sillons s'y forment autour des brides des cylindres. Pareille chose se voit encore dans les fonds des chaudières à doubles carneaux intérieurs, système Fairbairn, du Lanscashire, lorsque ces fonds ont été trop fortement entretoisés avec la partie cylindrique. Des sillons circulaires déterminés par le mouvement des fonds se rencontrent quelque fois à la base des cornières qui servent à la réunion avec les cylindres intérieurs. Mais ces sillons ne se montrent nulle part aussi marqués que sur les chaudières de locomotives. Cela tient à ce que la pression y est plus élevée, à ce que la plus grande épaisseur des plaques donne plus de saillie aux lèvres du recouvrement, et surtout à ce que la chemise, qui n'est pas entretoisée, ne peut être examinée convenablement si les tubes ne sont pas enlevés ; il en résulte que les sillons ont le temps de s'agrandir avant d'avoir été observés.

Les fibres intérieures d'une plaque cintrée à froid sont nécessairement dans un état mutuel de compression. Lorsque cette plaque est soumise à la pression intérieure, qui tend à déterminer un cylindre parfait, elle se déforme dans tous les sens, soit par suite de son élasticité, soit par suite de la pression. Si le fer est cassant, il peut se fendre tout au pourtour; s'il est ductile, les fibres intérieures perdent graduellement leur élasticité, et, nécessairement aidées par d'autres causes, elles se fendent également. Cette action est progressive et probablement très-rapide dans les derniers temps. Quand une partie est ainsi altérée, elle travaille de plus en plus. De même, lorsqu'un joint est soumis à la pression d'essai, il se comporte d'une manière analogue. Par exemple, un recouvrement de 12 millimètres, solidement soudé par le procédé de Bertram a seulement la moitié de la résistance d'une plaque simple, tandis que le joint à recouvrement soudé de 9 millimètres [1] a maintenant les deux tiers de cette résistance.

MM. Jean Piédebœuf et C[ie] d'Aix-la-Chapelle, Dusseldorf et

1. *Pratique récente des machines locomotives*, page 5.

Liége, qui produisent annuellement plus de mille chaudières à vapeur, employent un joint à recouvrement qui probablement donne de meilleurs résultats au point de vue de la formation des sillons ; il est plus aisé à mater et la matière doit, en conséquence, être moins altérée par cette opération. (Les bords des plaques sont coupés sous un angle de 65° au moyen d'outils convenables.)

Il y a encore une importante considération à noter en ce qui concerne ces sillons. Un vaisseau cylindrique soumis à une pression interne doit rompre longtemps avant d'atteindre la forme sphérique, par suite de l'insuffisance de son élasticité et de sa ductilité, mais on peut considérer trois actions distinctes dans autant de directions différentes. L'effort exercé sur les extrémités et tendant à rompre la chaudière en deux moitiés qui se sépareraient au milieu de la longueur de l'axe; l'effort qui tend à donner à chaque anneau une forme circulaire et qui agit dans un sens perpendiculaire, dans les chaudières ordinaires; enfin l'effort longitudinal qui tend à faire prendre du ventre ou à augmenter le diamètre vers le milieu de la longueur. On ignore encore comment la matière résiste à ces diverses actions ainsi combinées : Les effets sont probablement analogues à ce que l'on obtient en coupant au couteau un anneau de caoutchouc étiré, ou à ce qui se passe quand une colonne se rompt par compression sous l'action d'un coup de marteau, ou enfin à la facilité avec laquelle on cisaille, par un coup de burin, un tube soumis à une grande pression ntérieure.

n fait, l'opération du matage d'une chaudière défectueuse, pendant qu'elle est en charge, semble porter souvent le dernier coup qui doit produire l'explosion. La nouvelle chaudière qui a fait explosion par suite d'une plaque défectueuse aux ateliers de l'Atlas, à Manchester, en 1858, et celle qui a éclaté suivant un joint longitudinal en janvier dernier à Péterborourg, se sont produites au moment du matage. Cela rend compte de ce fait que des chaudières voisines éclatent quelquefois l'une après l'autre, et montre en même temps comment une chaudière solide peut être affectée par une explosion. Par suite du même principe, il est probable que les nouveaux canons formés de mises annulaires doivent être facilement mis hors de combat par un choc. La probabilité est que l'existence d'un certain nombre d'actions simul-

tanées, agissant dans des directions différentes, diminue la solidité que présenterait la matière dans une direction donnée. Malgré cela on verra que c'est seulement la pression exercée sur les fonds de la chaudière, parallèlement à l'axe, et tendant à rompre le cylindre transversalement, qui agit franchement sur le joint rivé ou plutôt sur la partie du métal conservée entre les rivets lors du percement. A moins que le cylindre ne soit parfaitement correct à l'intérieur, l'action perpendiculaire à l'axe détermine elle-même une action longitudinale qui s'ajoute à la précédente pour fatiguer les parties de métal conservées au poinçonnage. En ce qui concerne l'action qui tend à augmenter le diamètre du cylindre, il est clair que si nous considérons une bande qui aurait été enlevée sur toute la longueur du cylindre, chaque portion de la longueur de cette bande pourra être regardée comme appartenant à une poutre soumise à une charge uniformément répartie. Comme cependant il y a une double épaisseur de métal à l'endroit du joint, ce joint se trouve constitué de manière à mieux résister à la formation d'un ventre ou même à la séparation des deux pièces. Ceci apporte quelques justifications à l'opinion des vieux chaudronniers qui, avant que les assemblages eussent été soumis à l'épreuve de charges directes, les considéraient comme devant former les parties les plus résistantes d'une chaudière.

Réellement, c'est ce que nous observons dans la pratique. La partie la plus amincie par les sillons se trouve, en général, exactement dans le milieu des plaques, et cela est dû à l'action longitudinale qui s'exerce dans un plan perpendiculaire à celui de la résistance transversale. Une bande enlevée d'un joint à l'autre est à peu près dans la condition d'une poutre supportée par ses deux extrémités, chargée uniformément sur toute sa longueur, et prenant, conformément aux principes reçus, la plus grande flèche au milieu de cette longueur.

L'anneau central de la chaudière qui a éclaté l'an dernier sur le chemin de fer métropolitain, et les fragments qui ont été examinés par le rédacteur, signalaient la formation préalable d'un sillon. Le capitaine Tyler rapporte qu'à $0^m.418$ ou $0^m.475$ du joint transversal, ou exactement au milieu de la plaque, il restait peu de métal, tandis que celui-ci reprenait son épaisseur première de $0^m.018$ à mesure que l'on s'éloignait du centre vers les bords.

Il est impossible de nier l'existence d'une infinité d'efforts agissant sur les parois d'un vaisseau à l'intérieur duquel une pression est exercée; elles produisent ce qu'à défaut d'une meilleure expression, on pourrait appeler une action de gonflement. Des indications sur ce sujet sont données dans les essais de M. Fairbairn, représentant soit des tuyaux de plomb ouverts au milieu de leur longueur par l'action de la pression intérieure, soit des plaques de boîtes à feu qui, sous les mêmes actions, ont été déformées au centre de leur surface. On n'a pas assez tenu compte de l'effet de tels efforts sur la résistance définitive, et surtout la considération de l'élasticité des matériaux a été entièrement négligée par les auteurs, qui n'ont fait connaître aucun résultat numérique sur ce sujet. L'effet de la pression intérieure est évidemment retenu par la double épaisseur du métal dans les joints, de manière que le milieu d'une feuille doit être considéré comme le point le plus dangereux de la chaudière. Une des feuilles de la chaudière du chemin Great Northern, qui a fait explosion en mai dernier sur la ligne métropolitaine, avait une largeur transversale d'environ $0^m.915$, de recouvrement en recouvrement, avec un diamètre intérieur de $0^m.143$. Si nous considérons une bande de $0^m.025$ de large, empruntée à une plaque de $0^m.915$ de long, parallèlement à l'axe de la chaudière, cette bande, soumise à une pression de sept atmosphères, se trouve uniformément chargée d'un poids total de 1648 kil., ou ce qui revient au même, se trouve dans les mêmes conditions que si elle était chargée en son milieu d'un poids de 824 kil. Si cette bande était cintrée suivant un cercle parfait, chaque centimètre carré, pour une épaisseur de 0^m0095 serait soumis à une tension de 434 kil. suivant une tangente à la circonférence; enfin en faisant abstraction de la diminution de section vers les extrémités, pour le passage des conduits de fumée, chaque élément de ce cercle, de un centimètre de large et de 0^m0095 d'épaisseur, serait soumise à une charge d'environ 514 kil., agissant parallèlement à l'axe de la chaudière.

Il serait impossible de donner une règle générale ou une formule qui tînt compte des effets inégaux résultant soit des recouvrements simples, soit des joints avec plaques, soit des

1. *Useful informations for Engineers*, 1856. Appendice XVIII.

soudures; mais il est certain que le mode actuel du calcul de la résistance d'une chaudière cylindrique, d'après les expériences directes faites par des poids ou la presse hydraulique sur des plaques assemblées, est loin d'être exact. Cela n'est à peu près admissible que pour les joints brasés ou ceux qui sont faits par approche, avec plaques de recouvrement à l'intérieur. Même dans cette condition la tension d'un anneau détermine une déformation, si le cylindre n'offre pas à l'intérieur une section parfaitement circulaire. La formule actuelle pourrait être utilisée dans la pratique, si la chaudière était consolidée de manière à prévenir tout changement de forme sous l'impulsion de la vapeur, et contre l'action moins énergique, déterminée en sens contraire, à chaque augmentation et à chaque diminution de pression. En fait une chaudière, comme une ferme, exige non-seulement une grande solidité, mais il faut encore qu'une rigidité suffisante la protége contre tout renflement ou écrasement.

Laissant de côté les effets de l'épaisseur de la matière, un cylindre parfait offre théoriquement la même résistance à la pression extérieure et à la pression intérieure. La résistance à l'écrasement sera réellement plus grande parce que les divers matériaux résistent plus à la compression qu'à l'extension. Il faut toutefois observer que toute déformation diminue progressivement les conduits de fumée en augmentant l'effort exercé sur la surface, tandis que le contraire a lieu pour les parties de la chaudière exposées à une pression intérieure. Avant que M. Fairbairn eût montré la faiblesse des tubes à fumée, leur fréquent écrasement était expliqué par la production de vapeur sphéroïdale ou par d'autres causes. Ils sont devenus depuis les travaux de l'ingénieur de l'association de Manchester, plus résistants que les enveloppes, par suite de l'emploi des fers à T et des fers d'angles généralement employés, comme aussi par les brides que M. Adamson a mises en usage depuis 1852 [1], tandis que les fers à T et les autres armatures peuvent être employés pour les parties des corps de chaudière qui ne sont pas exposés à l'action du feu (elles sont recommandées en France [2] ainsi que par notre inspecteur des chemins de fer). Les

1. Spécification, numéro 14259.

2. *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1861, page 532.

couronnes à brides d'Adamson, employées à l'inverse de leur première destination, formeraient sans doute d'excellents soutiens pour les joints transversaux d'un cylindre chauffé extérieurement, et l'on pourrait se servir, dans cette disposition, de feuilles minces et étroites, formant des recouvrements plus solides et plus étanches. Avec une construction de cette nature, on n'aurait que bien peu ou même plus à craindre la flexion ou l'extension des tôles, et la section transversale des plaques et des colliers permettrait d'obtenir partout une résistance égale à celle de la chaudière même.

2. *Effets mécaniques de la chaleur.*

Si une résistance maximum est nécessaire pour que la chaudière ne cède pas à l'action de la pression, un maximum de flexibilité n'est pas moins utile par rapport à l'influence mécanique, irrésistible, de la chaleur. Ainsi un grand avantage de quelques-unes des dispositions d'entretoisement pour les conduits intérieurs résulte de ce qu'elles permettent l'emploi de plaques minces, offrant ainsi une structure de grande flexibilité aux influences complexes de la chaleur. L'expansion longitudinale des tubes, telle qu'elle a été modifiée par un léger ressort ou une bague à chaque joint, et l'extrémité des feuilles de l'enveloppe ne sont pas induement éprouvées par les efforts de la pression intérieure et de la tension. C'est là un des moyens à l'aide desquels une circulation défectueuse ou la formation brusque d'un courant d'air froid ou de vapeur peut fatiguer la construction en agissant inégalement sur les plaques; et bien qu'il semble probable que les effets qui auraient pu être ainsi produits puissent en partie être attribués à d'autres causes, cela montre l'importance qu'il y aurait à chauffer les plaques le moins possible. Une protection contre les effets de ce genre dépend de la diffusion graduelle de la chaleur, résultant de la communication avec les différentes plaques. Les ingénieurs admettent en général que la pression de la vapeur fatigue davantage une chaudière que la pression à froid de la presse hydraulique, mais on ne sait pas jusqu'à quel point cela est exact. La base d'une pareille recherche devrait résider dans la détermination de la température d'une paroi qui transmet la chaleur à l'eau, et c'est ce qui n'a pas encore été fait avec

quelque certitude. Comme l'a remarqué M. Peclet, cette incertitude est due à ce que les différents phénomènes qui exercent ensemble leur influence sont extrêmement complexes. Il est certain que la paroi de transmission est toujours à une température plus élevée que l'eau elle-même, parce que c'est en vertu de la différence de température des deux surfaces que la transmission a lieu [1]. Il admet que, quoique la quantité de chaleur soit inversement proportionnelle à l'épaisseur de la plaque (elle est proportionnelle à l'étendue de la surface et à la différence de température), elle peut être la même pour une plaque plus épaisse, parce qu'alors la différence de température serait plus grande. Il n'ignorait pas cependant la loi importante établie par M. J. D. Forbes, et qui est relative à la diminution rapide de la conductibilité du fer, à mesure que la température s'élève. A 200° centigr., la conductibilité est réduite à la moitié de sa valeur à 0 [2]. Si l'on possédait des moyens commodes pour la détermination de températures plus élevées, on reconnaîtrait sans doute que la conductibilité continuerait à diminuer. Quelques-unes des expériences de Peclet paraissent d'ailleurs viciées d'après la preuve donnée par le docteur Joule, de l'élévation de température que prend l'eau lorsqu'elle est mise en mouvement. Il est certain que l'eau ne peut mouiller le fer que jusqu'à une température inférieure à 171° centigrades. Aussitôt que l'eau est ainsi repoussée, la chaleur qui a traversé le métal est réfléchie par le liquide; le métal s'échauffe de plus en plus, pendant que sa conductibilité continue à diminuer, et la surface exposée au feu s'oxyde rapidement. Le même effet est produit, lorsqu'à l'intérieur la surface se couvre rapidement d'incrustations solides qui forment une véritable enveloppe et qui conduisent six fois moins bien la chaleur que le fer [3]. Toutes ces influences sont d'un caractère progressif, et elles entretiennent les plaques à une haute température, même à la température rouge. Cela tend à expliquer comment les têtes des rivets qui avoisinent le feu sont bientôt détruites par suite des courants de gaz sur le métal rougi;

1. *Traité de la chaleur*, volume 2, page 393.

2. Société royale d'Édimbourg, 28 avril 1862. Recherches expérimentales sur les lois de la transmission de la chaleur dans les barres et sur la conductibilité du fer forgé.

3. *Traité de la chaleur*, volume 1, page 391.

pourquoi les tubes à fumée des plaques minces donnent tant d'embarras; pourquoi les chaudières à foyer intérieur sont le plus endommagées aux points où la tôle forme des recouvrements triples; et tant d'autres faits bien connus des ingénieurs. Une autre preuve de la meilleure conductibilité des plaques minces nous est donnée par l'expérience comparative qui a récemment été faite en Prusse sur deux chaudières à fonds sphériques, entièrement semblables, à cela près, que l'une était construite avec de la tôle d'acier de 0m.007, et que l'autre était en tôle de fer de 0m.015 d'épaisseur. Le pouvoir d'évaporation de la première était à celui de la seconde dans la proportion de 127.49 à 100[1], résultat qui ne peut s'expliquer que par la différence d'épaisseur. L'acier est moins sujet à former des ampoules, qui diminuent considérablement la conductibilité sur le point où elles se forment.

Alors qu'il est certain que les tôles des chaudières peuvent ainsi s'échauffer, même jusqu'au rouge, on n'est pas d'accord sur la mesure de leur résistance à la rupture; et, en ce qui concerne leur élasticité, la question a été à peine étudiée. Les expériences sur la ténacité du fer à haute température qui ont été faites par Baudrimont[2], par Seguin, et par l'Institut de Franklin, ne doivent pas être considérées comme de grande valeur, parce qu'elles n'ont été faites que sur une petite échelle et qu'elles n'ont pas distingué les allongements temporaires des allongements permanents, non plus que l'action de la chaleur sur l'élasticité et la ductibilité du métal.

M. Fairbairn[3] n'a observé aucune variation sur la résistance du fer au-dessous d'une température de 200°. Au rouge naissant la résistance des plaques était réduite de 21 329 kil. à 17 243 kil. pour 150°; et elle n'était plus[4] que 13 833 kil. au rouge vif. M. Tremery et P. Saint-Brice, aidés de Cagniard Latour, ont trouvé qu'à la même température (le rouge sombre), la résistance était réduite au niveau de celle du métal froid. Cette diminution dans la résistance est beaucoup plus grande que celle indiquée par

1. *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses in Preussen*, 1862, page 140.

2. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, tome XXX, page 304.

3. *Ot the nensile strength of wrought iron at various temperatures*. Rapports de l'Association britannique, 1856, page 405.

4. *Annales des mines*, volume 3, page 513.

M. Fairbairn; la différence tient peut-être, entre autres causes, à ce que l'appréciation de cette température varie beaucoup d'un jour sombre à une journée de soleil. En réalité, la grande difficulté de ces recherches provient de ce qu'il n'existe aucun thermomètre pour les températures élevées; mais le résultat de M. Tremery semble plus conforme aux observations de la pratique. Les chiffres de M. Fairbairn n'accusent qu'une diminution de la résistance à moitié, tandis que les résultats de M. Tremery expliquent l'écrasement immédiat des tubes portés au rouge, et dont les dimensions primitives ont été calculées avec un facteur de sécurité égal à six.

Il serait important de connaître l'action de la température sur l'élasticité de la matière, et de s'assurer si le fer acquiert plus facilement un état permanent à une plus haute température. De pareilles indications seraient plus précieuses que celles relatives à la rupture, en ce qu'elles montreraient l'influence de cette température sur la limite d'élasticité. Il y a là une lacune qu'on ne peut considérer comme remplie par quelques expériences de feu Wertheim sur des fils fins[1]. Il a trouvé cependant que l'élasticité d'un petit fil de fer ou d'acier augmente depuis 15 jusqu'à 100°; qu'à 200° elle a notablement diminué, et qu'elle est même quelquefois au-dessous de sa valeur primitive pour la température ordinaire. Il y a encore, en ce qui concerne la tôle, un point important auquel on n'a pas accordé l'attention qu'il mérite. Il semble résulter de plusieurs des phénomènes que l'élasticité du fer est limitée à une certaine température. Lorsqu'il a été chauffé de manière que l'augmentation de volume n'excède pas celle qui correspond, par exemple, à 100°, il reprend exactement ses dimensions primitives. Au delà d'une certaine température, au contraire, il ne revient pas ainsi à son volume primitif, mais il conserve une augmentation permanente, dépendant sans doute de ce que les limites d'élasticité ont été dépassées. On a fait plusieurs observations de cette nature sur la fonte[2]; et, encore bien que le fer forgé n'ait pas été étudié, sous ce rapport, avec le même degré d'exactitude, on ne conserve aucun doute sur la similitude des effets. Un ingénieur autrichien[3], M. Kohn, a

1. Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome XIX, page 231.
2. *Métallurgie de Percy*, tome II, page 872.
3. *Technologiste*, 1850-51, page 102.

remarqué, depuis plusieurs années, qu'une chaudière de 12 mètres de long et de $1^{m},57$ de diamètre, dont la tôle avait $0^{m}.011$ d'épaisseur, ne reprenait pas, en se refroidissant, ses dimensions primitives lorsqu'elle avait été, d'une manière permanente, allongée de $0^{m},0793$, sous l'action de la vapeur à 5 atmosphères (153°). Le même fait a été constaté, par des mesurages exacts, sur d'autres chaudières. Un grand nombre d'expériences, dues au lieutenant-colonel N. Clerk de Woolwich, sur des cylindres et des plaques de fer[1], établissent jusqu'à l'évidence l'augmentation de volume du fer, lorsque ce métal a été chauffé et soudainement refroidi. Dans son expérience n° 7, par exemple, deux pièces plates de fer forgé, chacune de $0^{m}.30$ de long, $0^{m}.15$ de large et $0^{m}.012$ d'épaisseur, ont été chauffées et refroidies vingt fois de suite, en immergeant la première à la moitié, la deuxième aux deux tiers de son épaisseur. Celle qui avait été immergée à moitié s'était contractée ou déformée à son extrémité de $0^{m}.076$. L'autre a présenté de semblables déformations, mais réduites à moitié seulement. Toutes deux s'étaient courbées en forme d'arc, la face convexe correspondant à la partie successivement chauffée et refroidie. Malheureusement la densité des différentes portions n'a pas été déterminée par le colonel Clerk. Des épreuves successives de cette sorte produisent des craquelures dans le métal et expliquent comment les plaques des chaudières peuvent être fendues par suite d'une mauvaise circulation et par suite de la présence de l'eau froide dans le voisinage du feu. Plus la plaque est épaisse, plus la déformation permanente est à craindre et plus elle est dangereuse. M. Kirkaldy a trouvé que le fer que l'on refroidit rapidement, en le plongeant dans l'eau après qu'il a été chauffé, devient plus dur, et qu'il reste véritablement altéré si on ne le soumet point à l'action du marteau ou du laminoir. Cette augmentation permanente de volume est nécessairement l'indice d'une diminution de densité, et l'on trouve ainsi une nouvelle analogie entre le fer qui a été chargé au delà de la limite d'élasticité et celui qui a été surchauffé. Lajerhelm [2] avait établi depuis longtemps cette diminution de poids spécifique, et ses indications ont été pleinement confirmées par les nom-

1. Procès-verbaux de la Société royale, 5 mars 1863.

2. *Annales de Poggendorf*, 2e série, volume II, page 488.

breuses expériences de M. Kirkaldy. Les forgerons appellent fer brûlé celui qui a été rendu cassant par un travail répété, après un grand nombre de chaudes, ou qui est chauffé trop fort. Le fer rendu cassant par des actions mécaniques poussées au delà des limites de l'élasticité est appelé depuis longtemps fer cristallisé. Ces deux états sont accompagnés d'une augmentation de volume, de la dureté et de la friabilité qui en résultent, et ils doivent tous deux être attribués à des causes analogues. On admet généralement que du très-bon fer devient bientôt cassant s'il est employé dans une chaudière à vapeur. Il y a plusieurs applications dans lesquelles le métal est particulièrement exposé à être chargé au delà de ses limites d'élasticité : soit par action mécanique, soit par l'action de la dilatation ou de la contraction, soit enfin par augmentation de volume résultant de l'application de la chaleur, ces trois actions pouvant agir simultanément. Tel est le cas pour les boulons d'entretoises des boîtes à feu. C'est pour cela qu'ils deviennent cassants lorsqu'ils sont en fer, métal beaucoup moins ductile que le cuivre. M. Z. Colburn déclare qu'il a fréquemment trouvé ces entretoises (en fer) aussi cassantes après peu d'années que si elles étaient en mauvaise fonte. Il les a souvent brisées et séparées de vieilles chaudières, quelquefois avec le coup de marteau qu'il faudrait employer pour casser un noyau de pêche[1].

3. — *Effets chimiques du combustible en ignition.*

Quelles que soient les modifications physiques du fer lorsqu'il est exposé à l'action longtemps prolongée d'une haute température, sans être ensuite soumis au choc du marteau ou à la pression du laminoir, il est certain que la température rouge lui fait perdre en partie sa consistance métallique. La surface se convertit, jusqu'à une profondeur plus ou moins grande, en batitures de forges qui, d'après Berthier, sont formées d'un composé cristallin de protoxyde et de peroxyde de fer. L'action mécanique du gaz, et particulièrement celle de l'oxygène libre, existant dans toutes les flammes, lancées avec grande vitesse, par l'effet du tirage, sur des surfaces plus ou moins chauffées, doivent en-

1. *Explosion des chaudières à vapeur en* 1862, page 30.

core aider à ces combinaisons chimiques, absolument comme cela a lieu pour la limaille de fer, qui brûle dans l'air après avoir traversé un gaz enflammé. C'est en vertu de la même action mécanique que la chaux incandescente est entraînée par la flamme du chalumeau oxy-hydrogène. Ces effets ont lieu avec toutes les flammes, même avec celle du charbon de bois. Mais lorsqu'on se sert du combustible minéral, qui contient le plus souvent des pyrites de fer, il y a beaucoup plus de danger pour les plaques, parce que la flamme renferme alors de l'acide sulfureux et même du soufre en vapeur. L'exemple le plus banal de ce genre d'action est celui du percement d'une plaque de fer au moyen d'un bâton de soufre, par suite de la formation d'un sulfure de fer. Le docteur Schafhaeultl, de Munich, a beaucoup étudié les altérations des plaques soumises à l'action du feu. Il y a trente-quatre ans, il a lu un travail devant la Société des ingénieurs civils[1], et plus récemment il a publié un essai sur ce sujet dans une des feuilles périodiques de Munich[2]. Il a fait connaître beaucoup de faits, fondés sur l'analyse de plaques provenant d'explosions, qui montrent bien le danger provenant seulement de l'action chimique, lorsque les parois d'une chaudière atteignent la température rouge. Il indique que le fer, à la face intérieure des plaques, décompose alors l'eau et se combine avec l'oxygène mis ainsi en liberté. Il perd aussi de son carbone. A l'extérieur, il se combine avec l'oxygène et les acides à base de soufre de la flamme. Il établit que le fer fabriqué à la houille est beaucoup plus affecté que celui qui vient des usines au charbon de bois, en ce qu'il commence à se dédoubler dans les joints des mises qui composaient la loupe soumise à l'action du laminoir. Il est possible qu'un peu d'oxyde s'étant primitivement interposé dans les joints, les fuites deviennent plus faciles en ces points. Cela démontre le grand avantage des tôles absolument homogènes comme celles en acier fondu, dans lesquelles toutes les précautions ordinaires ont été prises, à la fusion, pour assurer cette homogénéité. La diminution notable dans l'élasticité et la ténacité, déterminée par la combinaison du fer porté au rouge en contact avec le soufre; l'absence de toute élasticité et de toute

1. *Transactions de la Société des ingénieurs civils*, volume III, 1840, p. 435.
2. *Bairisches kunst und Gewerbeblatt*, juin 1863.

ténacité dans les oxydes de fer montrent que, même en dehors de tout écrasement ou explosion, la chaudière est plus ou moins altérée par une température trop élevée. Une circulation défectueuse, en permettant à l'eau de découvrir quelque partie de la paroi, donne très-rapidement lieu à des détériorations locales. C'est ce qui arrive souvent, sur certains points des chaudières à foyer extérieur, sans que l'on puisse, comme le remarque M. Fletcher de Manchester, expliquer nettement les causes de ces effets. Une chaudière neuve, dans laquelle un paquet de chiffons avait été accidentellement oubliée a été brûlée en ce point en un petit nombre de jours [1], sans doute par suite de la circulation défectueuse et de ses conséquences. Les plaques immédiatement placées au-dessus du feu, dans les carneaux intérieurs, souffrent de la même façon. Il ne serait pas impossible que des joints tournés, assemblés par des boulons, et qui permettraient un renversement ou plutôt une rotation relative des parties primitivement en regard ne puissent être quelquefois d'un bon service en ces circonstances. En tous cas, l'expérience prouve que plus une plaque est épaisse, plus elle rougit facilement; et ces considérations chimiques font désirer que l'on adopte le minimum d'épaisseur. En fait, la détérioration des plaques dans ces conditions, si elles sont assez solides pour résister mécaniquement à la pression, s'arrête souvent à une certaine limite. En Allemagne et en France, quelques-uns des plus habiles constructeurs donnent encore, aux plaques exposées aux coups de feu, une épaisseur plus grande que partout ailleurs. Mais la réunion des actions chimiques et mécaniques du feu cause certainement plus de dommage sur une plaque épaisse, et justifie, sous ce rapport, la pratique américaine. En cette contrée, les tôles des boîtes à feu sont en bon fer au bois, d'une épaisseur de $0^m,0015$ à $0^m,0063$ et, au moyen d'entretoises espacées de 10 centimètres, elles donnent de bons résultats pour une pression d'environ 10 atmosphères.

4. — *Effets chimiques et physico-chimiques de l'eau d'alimentation.*

Le genre de détérioriation que l'on désigne ordinairement

1. Péclet. *Traité de la chaleur*, volume II, page 73.

sous le nom de corrosion peut être examiné à deux points de vue différents : 1° à l'intérieur; 2° à l'extérieur de la chaudière. Les progrès de ces deux effets sont nécessairement activés par l'influence de la température, mais chacun a son caractère particulier, dérivant, non-seulement des parties où il se produit, mais encore de son origine et de ses résultats.

Une chaudière à vapeur est un vaisseau dans lequel de grands volumes d'eau sont continuellement introduits. L'action de la chaleur, en produisant l'évacuation de toutes les matières volatilisables, laisse dans ce vase une solution concentrée dont le caractère chimique dépend de toutes les substances non volatiles qui se trouvaient dans l'eau d'alimentation.

La densité de ces substances tend naturellement à les entraîner vers les parties inférieures; c'est là que la concentration est, en général, la plus grande, malgré les fluctuations déterminées par l'ébullition. M. J.-R. Napier a prouvé dernièrement qu'un morceau de zinc d'environ $0^m,90$ de long, 0,08 de large et 0,0047 d'épaisseur, placé pendant trois semaines dans une chaudière marine, jusqu'à une profondeur de $0^m,46$ au-dessous du niveau de l'eau, s'est corrodée beaucoup plus au fond qu'à la surface, et qu'elle n'avait même pas été sensiblement altérée dans la partie qui était plongée dans la vapeur[1].

Cela explique comment toutes les chaudières, même celles qui sont à foyer intérieur, sont plus attaquées vers le fond, la corrosion se faisant surtout sentir à la plus grande profondeur au-dessous de la ligne d'eau.

Dans les chaudières employées en France, les bouilleurs sont beaucoup plus attaqués que toute autre partie de la chaudière. Pour se mettre à l'abri de cette action lente, il est clair que le mieux est d'employer un excès de métal, et c'est pour cette raison que l'on donne aux plaques de fond de la plupart des chaudières marines une plus grande épaisseur et que, dans les locomotives, ces plaques doivent être souvent remplacées. Toute action de ce genre est activée par la température, et c'est ce qui explique que les chaudières à foyer extérieur donnent surtout lieu à des fuites sur le devant. Mais au-dessus de la ligne d'eau, les plaques sont corrodées aussi, non pas seulement par suite de

1. Institution des ingénieurs écossais, session de 1864-65.

rouille, mais sous cette forme particulière que l'on désigne sous le nom de piqûre, et qui se fait remarquer beaucoup plus, un peu au-dessous de cette ligne.

La présence d'une solution concentrée, acide ou alcaline, maintenue pendant des années en contact avec le fer à une température élevée, est bien faite pour expliquer une pareille corrosion. Mais cette corrosion intérieure des chaudières à vapeur présente cependant certaines circonstances singulières, dont on n'a pu encore donner une explication satisfaisante. En premier lieu, les plaques ainsi attaquées présentent un grand nombre de petites cavités irrégulières, assez semblables aux marques de la petite vérole ou offrant l'apparence de ces petits cratères que l'on distingue sur les images de la lune. L'auteur a quelquefois rencontré deux ou trois de ces excavations irrégulières, tandis que le reste de la surface était complétement intact. Quelquefois la plaque est surtout attaquée autour d'un boulon ; ailleurs, une plaque est restée parfaitement saine, tandis que celle à laquelle elle est rivée était fort attaquée, encore bien qu'elles aient été mises en service à la même époque, et qu'elles semblaient être dans des conditions identiques. Dans les chaudières de locomotives, ce piquage a été attribué à une action galvanique entre les plaques de fer et les tubes de cuivre; mais les inspecteurs de chemins de fer savent très-bien que les chaudières, dont les tubes sont en fer, sont bien plus attaquées, à égalité de parcours, que celles dont les tubes sont en cuivre. En résumé, toutes les chaudières, avec ou sans garniture de cuivre, qui sont employées pour le service des machines fixes, des locomotives ou des bateaux, sont sujettes à être piquées.

Une explication qui paraît comprendre toutes les circonstances du phénomène est la suivante : M. Mallet, dans un rapport adressé, il y a quelques années, à l'association britannique, a montré que le fer et l'acier (sans doute l'acier pudlé) étaient formés de deux ou de plusieurs composés différents, résistants et entrelacés, dont l'un est électro-négatif par rapport à l'autre. En fait le fer, étant obtenu par le soudage entre elles de plusieurs mises, est loin d'être un corps homogène sous le rapport de ses propriétés électriques. Dans une chaudière l'eau chaude, plus ou moins chargée de composés chimiques, serait le liquide actif et les portions électro-positives des plaques pourraient ainsi être

rapidement attaquées jusqu'à une profondeur plus ou moins grande.

Cette explication rend compte de diverses circonstances du piquage. Elle explique même comment les plaques, spécialement dans les chaudières marines, sont surtout corrodées dans les parties voisines de la ligne d'eau alors qu'elles restent saines partout ailleurs. L'eau concentrée d'une chaudière marine est généralement considérée comme un acide. De tous les sels contenus dans l'eau de mer, dit Faraday [1], le chlorure de magnésium est celui qui agit le plus énergiquement sur les plaques.

Il fait voir qu'un mètre cube d'eau de mer contient plus de 3 kil. de ce sel, et en même temps il signale le danger de l'action voltaïque, dans une chaudière, au contact du fer et du cuivre. Dans une moindre mesure le contact du fer et de la fonte, et même celui des différents fers contenus dans une même plaque ou dans des plaques contiguës, doivent agir de la même manière. Il n'est pas improbable que de l'acide chlorhydrique existe dans la vapeur des chaudières marines. M. J.-C. Forster [2] a examiné les eaux provenant de la condensation de la vapeur qui s'échappe par la soupape de sûreté et celle de l'enveloppe du cylindre du Lancefield, et il a formellement reconnu leur acidité [3]. La présence d'un acide dans la vapeur condensée rendrait assez facilement compte de la corrosion si irrégulière des chaudières marines, où en même temps le courant de vapeur doit agir sur les surfaces, de manière à détacher l'oxyde par frottement et à décaper ainsi la surface.

Une preuve décisive de cette explication du piquage des tôles résulte de l'absence de ce phénomène dans tous les cas où les plaques sont formées d'une matière homogène, au point de vue électrique. Cette homogénéité n'est réelle que pour les métaux

1. Cinquième rapport du comité de la chambre des communes sur les routes d'Holy-head, page 194.

2. Lorsqu'une solution de chlorure de magnésium est évaporée à sec, le sel et l'eau sont décomposés, et il se forme de la magnésie et de l'acide chlorhydrique libre :



$$\mathrm{MgCl} + \mathrm{HO} = \mathrm{MgO} + \mathrm{HCl}.$$

3. Institution des ingénieurs mécaniciens, 1863. Discussion sur le travail de M. James Jack et sur les effets des condenseurs à surface des chaudières à vapeur.

préparés par voie de fusion, comme l'acier fondu. Lorsque l'auteur était récemment à Vienne, il a été assuré par M. Haswell, inspecteur des ateliers de locomotives de Staatsbahn, que quelques chaudières construites en tôle d'acier, en 1859, n'avaient encore donné aucun signe de piquage, tandis que les plaques de fer, placées dans les mêmes conditions, avaient été très-attaquées. On pourrait donc dire que le piquage est une forme de corrosion localisée sur certains points par l'action voltaïque. Il doit aussi être aggravé par suite des actions mécaniques auxquelles la plaque est soumise, et par les variations successives de la température. Toutes les chaudières sont surtout piquées près de l'orifice du tuyau d'alimentation, et, dans les chaudières de locomotives à cylindres intérieurs, elles sont plus attaquées du côté de la boîte à fumée, sans doute par suite de la trépidation de ces plaques. Un état de corrosion à piqûres particulières serait sans doute le résultat de tout procédé mécanique de désincrustation trop énergique. Avec une action voltaïque plus vive, déterminée par une plus grande activité du liquide qui la détermine, les bords des cavités seront plus vifs et moins arrondis; c'est ce qui est arrivé pour une chaudière alimentée avec des eaux ferrugineuses, qui a fait explosion l'an dernier à Aberaman, South Wales.

Le fait que cette corrosion se remarque sur les chaudières marines, alimentées avec de l'eau distillée provenant de condenseurs à surface, ne doit pas faire rejeter notre explication. L'eau distillée de cette façon, quelle qu'en soit la cause, après des ébullitions répétées, marque un degré plus élevé au salinomètre que l'eau de mer elle-même, et cela suffit pour démontrer qu'elle est loin d'être pure.

En outre, il y a ici absence de toutes ces incrustations qui protégent ordinairement les plaques. A ce point de vue, la déformation mécanique des plaques, qui est directement ou indirectement la cause des sillons dont nous avons parlé, en détachant, de certaines lignes de la surface, les incrustations et l'oxyde, réduit ces parties de la chaudière à la condition même des chaudières alimentées avec de l'eau non incrustante.

La corrosion agira ainsi plus rapidement sur les sillons, par suite de leur augmentation et du renouvellement de la surface. Afin de s'opposer le mieux possible à la formation de ce genre

de corrosion que l'on désigne sous le nom de piquage des tôles, il résulte de tout ce qui précède qu'il faut assurer, autant que possible, la plus grande homogénéité de toutes les parties au point de vue des actions électriques.

Pendant que l'action corrosive qui se produit à l'intérieur détermine une dégradation des plaques sur de larges surfaces, et altère en conséquence leur résistance, la corrosion externe, localisée sur certains points, est d'un caractère bien plus dangereux encore. L'une est graduelle et facilement visible, les progrès de l'autre sont rapides et souvent inaperçus. A part quelques accidents qui peuvent se produire sous le briquetage du fourneau d'une chaudière fixe, soit aux plaques de fond d'une chaudière marine, on n'est averti d'une corrosion intérieure que par les fuites. Lorsqu'une fuite apparaît dans une fissure formée sous l'action des efforts exercés, ou à une partie frappée d'un coup de feu, les effets de cette fuite sont seulement des résultats secondaires qui dérivent d'une cause principale entraînant nécessairement l'arrêt du fonctionnement de la chaudière. Mais lorsque la fuite se montre dans un joint, elle peut être par elle-même une cause de destruction. Nous nous trouvons ainsi conduits à reconnaître que l'excellence de la chaudière, au point de vue de sa résistance extrême et de son entretien, dépend entièrement de la disposition de ses joints. On voit souvent que de très-bons joints à recouvrement, même lorsqu'ils ont été éprouvés à la presse hydraulique, jusqu'à une fois et demie de la pression courante, suintent plus ou moins. La tendance de la pression intérieure à former un cercle parfait agit indirectement sur ces joints, finit par les ouvrir et à déterminer des fuites, malgré le matage. M. Robert Galloway, qui, comme inspecteur du Board of Trade, a probablement fait plus de 3 000 inspections minutieuses de chaudières marines, indique qu'il a souvent remarqué un sillon ou canal à l'intérieur du joint, à quelque distance de la ligne extérieure et parallèlement à elle; ce sillon était évidemment causé par le suintement. Le long de la ligne d'eau, la vapeur condensée peut agir sur les joints, tandis qu'au-dessous d'elle, le liquide concentré de la chaudière exerce son action chimique. Un suintement dans une chaudière marine peut ruiner une plaque en une année. Dans certains cas, le filet d'eau qui sort par une fuite peut exercer un frottement notable, et l'on sait que même sur une matière

aussi dure et aussi peu attaquable que le verre, de semblables actions produisent un effet si sensible, qu'une légère fuite prolongée pendant plusieurs jours suffit pour déterminer une strie sur le verre d'un tube de niveau. L'acide sulfureux ajoute beaucoup à l'action de l'eau sur la plaque. L'eau peut dissoudre plus de trente fois son volume de gaz acide sulfureux, et les fumées sulfureuses du combustible sont plus ou moins absorbées au contact de l'eau de suintement. Une telle solution acide doit rapidement ronger les plaques, et il est certain que cette destruction est beaucoup plus active avec le combustible minéral qu'avec le bois. M. G. Adolphe Hirn a observé une plaque de 18 centimètres d'épaisseur qui a été percée, comme à la longue elle l'aurait été avec un foret, par un petit jet d'eau qui traversait le gaz qui se dégageait de la combustion de la houille.

6. — *Réglementation des chaudières à vapeur.*

Aucune preuve plus précise ne peut être donnée de l'état empirique des connaissances actuelles des causes d'altération des chaudières que celle qui nous est fournie par la considération de leur durée moyenne.

Tandis que quelques chaudières marines ont dû être remplacées au bout de 3 ans, des chaudières de terre bien entretenues ont fonctionné jusqu'à 30 années. Le capitaine Tyler estime que la durée d'une chaudière de locomotive varie de 5 à 20 ans. Peut-être la durée moyenne d'une chaudière marine ne s'éloigne-t-elle pas beaucoup de 5 à 7 ans; celle d'une locomotive de 8 à 9; celle d'une chaudière fixe de 18 à 20, les unes et les autres fonctionnant dans de bonnes conditions habituelles.

Il est clair que, dans une chaudière à vapeur, soumise à tant d'influences destructives, dont les effets peuvent à peine être calculés, la tension réelle ne doit pas dépasser le huitième de la tension de rupture. Mais lorsque les chaudières, comme il arrive trop souvent en Angleterre, sont payées d'après leur poids; quand on vise à une grande économie dans la main-d'œuvre; lorsque l'étude des progrès que l'on pourrait espérer avec de bonnes chaudières et les soins convenables sont subordonnés à l'esprit mercantile, il arrive trop souvent que cette compétition entre le risque et la dépense est décidée dans le

sens des intérêts les plus immédiats. Quoi qu'il en soit, le nombre des accidents arrivés dans les différentes parties du monde, a, à différentes époques, établi en fait que toute personne ne peut être complétement assurée contre les effets de la vapeur. En réalité, il n'y a sans doute aucun pays civilisé dans lequel il n'y ait eu quelques réglements sur l'emploi des chaudières à vapeur. Aux États-Unis, la fréquence des explosions a déterminé, dans quelques localités, une intervention plus despotique peut-être que partout ailleurs. A New-York, les chaudières sont sous le contrôle de la police municipale; elles sont soumises périodiquement à des épreuves, et il en résulte que chaque année plusieurs de ces chaudières sont interdites.

En vertu d'un acte du congrès, applicable à tous les États de l'Union[1], tous les navires qui servent au transport des passagers sont soumis à l'inspection du gouvernement. La treizième section de cet acte donne une idée très-nette de la cause réelle des explosions, qui doivent à première vue être considérées comme une preuve de négligence de la part du propriétaire, auquel incombe l'obligation de produire la preuve contraire. La loi de la Louisiane[2] est particulièrement sévère en ce qu'elle ordonne que l'épreuve hydraulique soit faite au triple de la pression normale. Naturellement il faut faire une grande distinction entre le réglement lui-même et sa mise à exécution, et il est probable que de pareils réglements ne peuvent être appliqués que par un personnel spécial comme sur le continent.

En France, aux dates de 1810, 1825, 1828, 1829, 1830, 1843 et tout dernièrement à celle du 25 janvier 1865, de nombreux réglements ont été rendus sur les chaudières à vapeur de toutes sortes. On avait d'abord exigé que les chaudières, *même celles* de fer, fussent essayées à une pression quintuple de la pression ordinaire; en 1843, on n'a plus exigé qu'une pression triple, qui a été réduite encore à une pression seulement double par le décret de cette année. Les lois précédentes fixaient un minimum d'épaisseur pour les parois, et cette exigence a sans doute été très-nuisible à la fabrication des chaudières en France.

L'ancien réglement du 6 mai 1838 fixait aussi, en Prusse,

1. Session du congrès, 7 juillet 1838.
2. *Baltimore american*, 1835.

l'épaisseur des plaques, mais elle n'exigeait aucun essai à la presse. Elle a été entièrement modifiée par le réglement du 31 août 1861[1]. Le mode de construction des chaudières a été laissé complètement à la disposition du fabricant, mais les chaudières fixes doivent être essayées, par la presse, à une pression triple; les locomotives à une pression double seulement. De même qu'on le fait aujourd'hui en France, l'essai doit être répété après chaque réparation de quelque importance. Une décision ministérielle du 5 mars 1863 a réduit la pression d'épreuve, pour les locomotives ayant déjà servi, à une fois et demie la pression normale seulement, et une nouvelle circulaire du 1er décembre 1864 a réduit celle des chaudières de toutes sortes au double seulement de la pression habituelle. Il n'y a maintenant aucune différence essentielle entre la réglementation française et celle de la Prusse, et il y a tout lieu de croire que les autres états du continent, tels que la Russie, la Prusse et l'Espagne, qui ont plus ou moins copié la législation française de 1843, adopteront aussi les nouvelles modifications.

Il est aussi question de modifier la loi autrichienne[2] qui règle l'épaisseur des tôles, mais qui demande seulement un essai à double pression. Les réglements belges[3] exigent aussi l'essai à pression double pour les chaudières ordinaires, mais la proportion est réduite à une fois et demie pour les appareils tubulaires. Suivant l'article 31 l'épreuve doit être renouvelée chaque année pour les chaudières locomotives, portatives et marines, ainsi qu'après chaque réparation importante.

L'Italie n'a pas de réglementation générale; mais dans les actes d'autorisation passés avec les compagnies des chemins de fer, on leur impose des conditions analogues aux conditions françaises, et les commissaires du gouvernement s'assurent qu'elles sont exécutées. Chacun des petits états de l'Allemagne a sa législation particulière, se rapprochant plus ou moins de celles de la France et de la Prusse. Dans le Mecklenbourg-Strelitz[4] les chaudières ordinaires doivent être

1. *Dusseldorfer Zeitung*, 24 septembre 1861.

2. *Reichs-Gesetz-Blatt fuer das Kaiserthum Oesterreich*, 1854, page 229.

3. Ministère des travaux publics. — Règlement donné à Laeken le 21 avril 1864.

4. *Grosshaerzoglich Mecklenburg-Strelitzer offizieller Anzeiger*. N° 11, 1863.

éprouvées à une pression triple, les tubulaires à une pression double seulement. On renouvelle l'épreuve chaque année et après toute réparation ou accident. En Saxe[1] les chaudières cylindriques sont essayées au double de la pression de service, et les chaudières tubulaires à celle de service, augmentée de 3 atmosphères. La Bavière[2] exige un essai à double pression pour les chaudières neuves, mais seulement à une fois et demie pour les vieilles. Le Hanovre et le Brunswick[3] ont une réglementation à peu près semblable.

La loi française et presque toutes les autres prescrivent l'emploi de deux soupapes de sûreté, et plusieurs d'entre elles sont très-précises dans les conditions d'établissement des manomètres, des indicateurs de niveau et autres accessoires. Dans la Grande-Bretagne, il n'y a d'autres obligations que celles résultant de deux clauses de l'acte des négociants armateurs[4], et qui consistent en ce que la soupape de sûreté, placée sur chacune des chaudières de tout navire portant des passagers, doit être mise sous le contrôle direct du mécanicien. Toute surcharge de cette soupape est punie d'une amende qui ne peut excéder 2 500 fr. et sans préjudice des autres responsabilités qu'un pareil fait peut entraîner.

Les chaudières de tous les bâtiments à voyageurs, avant de lever l'ancre, sont soumises à une inspection attentive de la part de l'ingénieur préposé par le *board of Trade* qui a le droit d'exiger l'épreuve à une pression double. S'il le trouve bon, il peut, d'après le résultat de son examen, donner au propriétaire le choix entre une réduction dans la pression de travail ou le remplacement de la chaudière. Armé de tels pouvoirs l'inspecteur devient responsable de toute explosion qui pourrait être directement attribuée au mauvais état de la chaudière. Lorsqu'une explosion a lieu sur un chemin de fer à voyageurs, l'un des inspecteurs du *board of Trade* examine les fragments et fait un rapport officiel sur l'accident; ce rapport est communiqué au bureau des chemins de fer. Les rapports sont ensuite imprimés

1. *Gesetzliche Verordnungen, die Anlegun von Dampkesseln betreffend*. Dresden, 1865.

2. *Regierungs-Blatt fuer das Kœnigreich Bayern*, 22 février 1865.

3. *Gesetz-Sammlung fuer das Kœnigreich Hanover*, 1863.

4. *Merchant Shipping Act*, 27 juin 1854. N[os] 289 et 298.

pour être présentés au Parlement; telle est la limite de l'intervention du gouvernement dans ces circonstances. Comme pour les autres accidents des chemins de fer, l'inspecteur du gouvernement peut cependant être appelé comme témoin dans les actions en dommages et intérêts contre les compagnies. Toutes les autres chaudières du royaume sont exonérées absolument de tout contrôle administratif ou municipal. Depuis quelques années cependant des compagnies privées (la première a été organisée par M. Fairbairn, de Manchester) se sont établies pour prévenir les explosions de chaudières. En retour d'une petite redevance annuelle on d'une légère prime d'assurance, les chaudières de chaque souscripteur ou assuré sont visitées périodiquement, et, s'il est nécessaire, éprouvées par des ingénieurs expérimentés. Il est hors de doute que ces compagnies ont déjà évité de grands dommages et des désastres.

On peut, d'après ce qui précède, distinguer trois systèmes distincts pour la conduite générale des chaudières à vapeur : 1° le système employé sur le continent; 2° le système de liberté qui existe en Angleterre et en Amérique; 3° ce que l'on peut appeler le système de Manchester. Le système du continent consiste dans une stricte surveillance de la construction originale, quelquefois réglée par des formules, et l'on peut dire qu'à partir de ce moment il n'a plus d'action. Il ne peut, sans des inspections périodiques, avoir aucune influence sur l'état des dégradations successives. On peut même se demander si l'ancienne loi française n'a pas été, dans certaines circonstances, plus nuisible qu'utile à la construction. La formule officielle, d'après laquelle l'épaisseur des tôles devait être calculée, fondée comme elle l'était sur cette hypothèse que la chaudière était de section exactement circulaire et que l'épaisseur du métal était sans influence sur le passage de la chaleur, était évidemment erronée. Le système que nous appelons anglais ou américain impose à ceux qui ont souffert d'une explosion l'obligation de fournir les preuves de la négligence du propriétaire. Ce système est, en outre, soumis, à part d'autres difficultés, à toutes les objections que comporte l'appréciation des questions techniques pour un jury non composé d'experts et sans l'assistance de témoignages scientifiques.

La fréquence des explosions dans les villes et dans les états de

l'Amérique, où les chaudières ne sont soumises à aucune surveillance de l'autorité, et le nombre excessif de celles qui ont lieu en Angleterre pour les chaudières qui ne sont pas assujetties à une inspection périodique, prouvent suffisamment que le service des chaudières à vapeur ne doit pas être laissé au hasard. D'un autre côté, le système d'inspection organisé par les compagnies anglaises de sécurité et le système analogue auquel sont soumises les chaudières de bateaux de la part des officiers du gouvernement, a produit une satisfaction générale. Une comparaison définitive entre les systèmes de Manchester et du *Board of Trade*, le système continental et celui du *laisser faire* ne pourrait être basée que sur de nombreuses statistiques. Malheureusement elles n'ont pas été établies. On sait cependant que sur 277 chaudières du département du Haut-Rhin[1], deux seulement ont fait explosion en 10 ans, et que, de 1856 à 1861, c'est-à-dire en 5 années, il n'y a eu que deux explosions, sur 1371 chaudières placées sous la surveillance de la société de Manchester. On compte quatre explosions par an sur les 6 500 locomotives du Royaume-Uni; trois ont déjà eu lieu cette année. Sur une moyenne de 600 navires, inspectés d'après l'acte de la navigation à vapeur, trois explosions seulement ont eu lieu dans la Grande-Bretagne depuis 1846-47, savoir : une à Lowestoff, sur le *Tonning;* une autre à Southampton, sur le *Parana*, et la troisième à Dublin. Ces faits parlent hautement en faveur des inspecteurs de la marine, et ils établissent que le système en vigueur sur le continent est bien inférieur à celui du Board of Trade. On désirerait évidemment que le système d'une inspection réelle et périodique pût être appliqué à tout le royaume. Cela se réalisera peu à peu, mais le progrès est lent et devrait être encouragé; il est très-possible que son application aux districts écartés, soit trop coûteuse pour être efficace. Ce qui semble pouvoir être réalisé, c'est qu'après une grave explosion, le coroner du district puisse se mettre en relation avec un bureau central d'assistance scientifique, pour ce qui concerne la recherche de la cause première. Le secrétaire d'état pourrait alors demander à un ingénieur compétent un rapport, qui constituerait un document à examiner par le jury. Le simple avis que toute explosion

1. *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1861, page 525.

serait rigoureusement examinée par un expert serait déjà, dans bien des cas, suffisant pour contre-balancer la tendance trop générale que l'on a de préférer le risque à la dépense.

6. *Épreuve hydraulique.*

Quoique l'application d'un effort connu au moyen de la presse hydraulique soit, comme nous l'avons vu, généralement en usage pour éprouver la résistance d'une chaudière, les ingénieurs sont cependant bien loin d'être d'accord sur la valeur réelle de ce procédé. Chacun a son opinion sur la question. Les uns disent que c'est le seul moyen de déterminer la résistance de la chaudière; d'autres prétendent que cette mesure est inutile et même nuisible. Quant à la limite de la pression, on recommande tantôt une fois et demi la pression normale, tantôt deux fois, plus rarement trois fois, et quelques ingénieurs même proposent l'essai à pression quadruple. Tandis que quelques ingénieurs conseillent son emploi pour les vieilles chaudières, il en est d'autres qui repoussent absolument l'emploi de la presse hydrauliqne dans ce cas. Enfin on va jusqu'à mettre en doute qu'une pompe d'injection puisse être le meilleur appareil pour ces sortes d'essais. La vérité est que si l'on peut abuser de ce moyen, comme de tous les moyens d'épreuve, lorsqu'on les applique sans discernement, il arrive aussi que l'on exagère son efficacité.

La meilleure preuve pratique de sa nécessité, pour les chaudières neuves, est donnée par ce fait que certaines explosions ont eu lieu dès la première mise en vapeur : c'est ce qui est arrivé à Atlas-Work, Manchester, en 1858. A moins que chaque plaque n'eût été éprouvée par une charge directe, il est impossible d'acquérir la certitude qu'aucune d'elles n'est défectueuse, et cette certitude est bien plus complète par l'essai à la presse hydraulique. En ce qui concerne son application aux vieilles chaudières, on peut sans doute beaucoup apprendre par une visite minutieuse, mais il n'est pas toujours possible de s'assurer de l'épaisseur conservée par les plaques, ni du degré de détérioration qu'a produit la chaleur. On dit souvent que l'essai à la presse hydraulique ne prouve pas que la chaudière aurait résisté à un effort plus élevé de quelques kilogrammes, et que peut-être

même elle éclatera sous une pression de vapeur plus faible. Mais cela n'est pas plus vrai que pour une poutre, par exemple, qui a résisté, sans flexion permanente, à la charge d'épreuve. Dans chaque cas il est nécessaire que ses effets sur les chaudières soient bien exactement appréciés. En réalité, la meilleure épreuve est celle de l'examen, et l'essai à la presse est seulement un moyen de vérification parmi les autres. La chaudière sera donc soumise autant que possible à une visite sévère, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Pour les locomotives, cela ne peut être fait qu'en démontant les tubes, pour les chaudières fixes, qu'en démolissant une partie de la maçonnerie du fourneau. En fait, il faut dire qu'une chaudière n'offrira jamais de sécurité qu'autant qu'elle peut être visitée facilement, spécialement à l'intérieur. En vérifiant les tubes, la chambre de combustion, les surfaces planes et même les enveloppes, on peut presque sûrement se convaincre si les limites de l'élasticité de la matière n'ont pas été surpassées, et si par conséquent la pression a détérioré une chaudière qui était déjà près des conditions de rupture. On dit souvent avec raison qu'il y a grand danger à éprouver une chaudière qui ne peut être visitée intérieurement, soit à une pression double, soit seulement à une fois et demie la pression courante. On ajoute que l'épreuve peut fatiguer la chaudière sans fournir aucun indice extérieur. Une chaudière de locomotive qui avait été essayée à une pression de 14 atmosphères, avec de l'eau à la température de 70°, en septembre 1860, mais qui n'avait point été visitée à l'intérieur, a fait explosion le 1er avril 1861 [1] sous une pression de 8.50 atmosphères seulement. Cette chaudière a présenté une fente à l'anneau de la boîte à fumée, par suite d'un sillon ou d'une fissure qui s'était produite parallèlement et à côté de la lèvre intérieure du joint longitudinal. Il est difficile de croire que si cet anneau avait été mesuré exactement, après enlèvement préalable de la chemise, comme cela se fait par les ingénieurs de l'association de Manchester, on ne se serait pas aperçu d'une augmentation permanente de diamètre ou de toute autre déformation. Si à la suite de pareille négligence dans le mesurage, avant et après l'application de la pression, l'épreuve avait été poussée trop loin, elle aurait pu certainement déterminer l'ac-

1. Rapport du Board of Trade, 1861, 4e partie.

cident qu'elle était destinée à prévenir. D'apres la législation prussienne, chaque nouvelle chaudière de locomotive doit subir une nouvelle épreuve après un parcours de 64 000 kilomètres, et ensuite après chaque nouveau parcours de 43 000 kilom. Ces prescriptions, qui n'évitent pas toujours les explosions, sont très-nuisibles aux chaudières, en ce qu'elles énervent les entretoisements et en ce qu'elles exigent un matage exagéré de tous les joints. D'un autre côté, la sécurité absolue que l'on peut obtenir par l'enlèvement des tubes exige, dans le mode actuel de construction, une dépense de peut-être 300 tubes, coûtant chacun de 30 à 35 francs, sans compter le mal qui en résulte toujours pour les plaques.

Quoi que l'on puisse dire contre l'épreuve hydraulique, le meilleur argument en sa faveur est son adoption générale. Aux États-Unis, les nouvelles chaudières de l'État doivent être essayées à une pression plus grande de deux tiers que la pression de travail, et la même règle est appliquée aux 3 000 chaudières de la ville de New-York. M. Anderson[1], de Woolwich, recommande à ses subordonnés de faire usage d'une épreuve au moins double de la pression courante pour les chaudières des ateliers de l'artillerie. M. Muntz, de Birmingham, a fait connaître publiquement qu'il avait adopté depuis longtemps l'épreuve annuelle et qu'il la considérait comme un devoir à remplir vis-à-vis de ses ouvriers. Les compagnies des chemins de fer de Eastern Countries, South Eastern, Lancashire et Yorkshire, Caledonian, New-British, Edimbourg et Glasgow, et London and South Western emploient l'épreuve hydraulique pour les chaudières, neuves ou vieilles, avec pression généralement double de la pression de travail. Sur le London and Nord Western on n'a jamais employé l'épreuve hydraulique que pour les chaudières neuves jusqu'à ces derniers temps. Les compagnies du Great Northern et du Great Western n'en font point usage, et c'est sur ces lignes que les explosions ont été les plus nombreuses. L'expérience pratique prouve ainsi que, quoique l'épreuve puisse quelquefois ne pas faire connaître la détérioration d'une chaudière qui n'aurait pas été visitée entièrement, le danger est réel-

1. Instruction pour la conduite des chaudières à vapeur dans les manufactures royales d'armes à feu.

lement plus grand quand on ne sert point de la presse hydraulique. M. Beattye, du London and South Western, démonte l'enveloppe tous les deux ans et applique une pression de 13 atmosphères pour une pression, en travail, de 8 atmosphères. M. Flechter, de l'association de Manchester, emploie, pour les chaudières neuves, une pression double de la pression normale, et il la réduit à un et demi ou un trois quarts pour les vieilles chaudières. Le plus généralement la pression d'épreuve est donc portée au double de la pression courante pour les chaudières neuves, avec diminution, dépendant des circonstances, en cas de vétusté.

L'estimation de la pression au moyen de la charge de la soupape de sûreté peut, pour plusieurs raisons, être erronée. Un manomètre métallique peut être employé, et d'excellents instruments de ce genre se trouvent à Paris. Dans la saison rigoureuse, les têtes de rivets sont sujettes à être déchirées si l'on n'échauffe le métal avec un peu d'eau tiède. L'action de bélier est beaucoup moins à craindre en se servant, pour la pompe, d'un tuyau de petit diamètre.

Il serait sans doute très-utile d'avoir des moyens de mesurer l'augmentation permanente ou accidentelle de volume qui peut être déterminée par l'action de la presse hydraulique. Il est probable que cela a lieu, en travail courant, pour les vieilles chaudières et qu'elles contiennent alors quelques litres de plus qu'au moment de la construction. Voici le moyen ingénieux qui est recommandé à cet égard par les règlements de la Bavière. Lorsque le remplissage de la chaudière est terminé, la pompe d'épreuve s'alimente dans un réservoir gradué. Lorsque la pression a cessé, la chaudière se contracte plus ou moins, et rejette un volume d'eau qui donne la mesure de la dilatation. L'objection à faire à cette méthode est relative à la présence de l'air confiné dans quelque partie de la chaudière ou même à celui qui est en dissolution dans l'eau. On peut par l'ébullition se débarrasser de la plus grande partie de l'air dissous, sinon de la totalité. Mais on n'a aucun moyen de contrôle quant à l'air qui aurait séjourné dans la chaudière, et comme l'eau peut retenir un poids d'air proportionnel (suivant une loi bien connue) à la pression, il pourra se dégager à nouveau au moment de la cessation de l'épreuve et ainsi fausser les résultats. D'un autre côté, l'on peut éviter cette absorption en élevant suffisamment la tem-

pérature du liquide. L'expérience est certainement digne d'intérêt : elle doit surtout être importante avec les chaudières tubulaires, inaccessibles à l'intérieur, en ce qu'elle permettrait de constater que peu ou point d'eau n'est rejetée après la suppression de la pression.

En 1844, M. Jobard, de Bruxelles, afin d'éviter les inconvénients attribués au choc de l'eau sur les plaques, a proposé de remplir d'abord la chaudière avec de l'eau, de charger les soupapes de sûreté et de dilater ensuite l'eau et par conséquent la chaudière elle-même en allumant le feu du foyer[1]. Plus récemment, le docteur Joule, de Manchester, a fait usage du même procédé et a proposé sa généralisation[2]. En outre de la soupape de sûreté, il emploie en même temps un manomètre métallique qu'il observe constamment pendant l'opération; si les indications de cet appareil augmentent régulièrement, sans diminution et sans arrêt, jusqu'à ce que la pression d'épreuve ait été atteinte, il admet que la chaudière a soutenu cette pression sans en souffrir. Une autre méthode, également basée sur le même principe de l'irrégularité de l'extension du métal lorsque la limite de l'élasticité a été dépassée, a été proposée dernièrement[3]. Elle consiste dans l'emploi d'un indicateur de pression, mu par la pompe de compression, comme il l'est habituellement par la tige du piston d'une machine à vapeur. Les ordonnées du diagramme tracé représentent ainsi la pression de la chaudière, pendant que les abscisses correspondantes indiquent le volume d'eau injecté, d'après le nombre des coups de piston de la pompe. Aussi longtemps que la limite d'élasticité n'a pas été dépassée, on obtient une ligne droite, mais le tracé devient courbe aussitôt que les parois commencent à prendre une flexion permanente. On pourrait craindre une sorte de contradiction de principe en faisant dépendre les résultats de l'épreuve de pareilles apparences d'irrégularités en deçà de la limite d'élasticité. La méthode du docteur Joule a le mérite de soumettre en même temps les plaques à l'action de la chaleur et de la pression, c'est-à-dire dans les véritables conditions de leur rôle.

1. *Technologiste*, 1844, page 135.

2. Sur un moyen d'éprouver la résistance des chaudières. (*Journal de la Société philosophique de Manchester*, 1862, page 97.)

3. *Polytechnische centralblatt*, page 1337, 13 octobre 1864.

CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS.

PROCÈS-VERBAL DES ÉPREUVES

AUXQUELLES A ÉTÉ SOUMIS

UN COMBLE EN FER

DE LA GARE DU CHEMIN DE FER DU NORD.

L'un des combles de la nouvelle gare du chemin de fer du Nord a une portée de 38^{m}85. Lors du montage, les fermes, écartées de 3^{m}33 d'axe en axe, s'étant déversées, la Compagnie a désiré que des épreuves fussent faites pour s'assurer si, malgré cet accident, sans importance essentielle, les différentes pièces constituant chaque ferme, avaient reçu les dimensions suffisantes pour toutes les éventualités.

A cet effet, trois fermes ont été dressées dans l'une des cours de la gare ; on les a recouvertes de leur voligeage, et nous avons été chargé de faire, avec M. Couche, les observations des déplacements produits par une surcharge qui devait être poussée au delà de la limite pour laquelle les fermes avaient été calculées.

Les sabots des trois fermes avaient été placés de niveau sur deux pièces de charpentes convenablement fixées sur le sol; ces fermes étaient entretoisées par le faitage en fer à double T, et, sur chaque rampant, par une panne de même échantillon ; les arbalétriers avaient été garnis de leurs fourrures sur lesquelles les voliges avaient été clouées. La largeur totale de ce voligeage en madriers était seulement de 9 mètres, mais on y avait ajouté le nombre de madriers nécessaires pour compléter le poids total de ce voligeage sur une largeur de 10 mètres, correspondant à trois travées entières.

Expériences de chargement faites sur trois fermes de 38m.85 de portée au chemin de fer du Nord.

DATES des ÉPREUVES.	CHARGEMENTS SUPPLÉMENTAIRES des rampants de		LECTURES ET OBSERVATIONS SUR LES CATHÉTOMÈTRES PLACÉES EN :						OBSERVATIONS.
	DROITE.	GAUCHE.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	
				mil.	mil.	mil.	mil.		
29 avril 1865.	0	0	à gauche.	42.44	45.04	133.72	128.69	à gauche.	Les instruments visent les repères avant toute surcharge.
—	50 vol.	0	à gauche.	41.70	44.80	133.94	128.69	à gauche.	On charge le rampant de droite à partir du bas.
—	45	0	0	40.90	44.00	133.68	128.04	0	
—	47	0	0	39.04	42.76	133.28	126.26	0	
—	42	0	0	37.92	41.88	132.64	123.26	0	
—	0	−190 vol.	0	33.60	39.70	130.00	118.23	0	On charge le rampant de gauche sur toute sa longueur.
—	50	0	0	28.30	39.08	129.53	117.60	0	On charge le rampant de droite à partir du bas.
—	0	0	0	27.50	»	129.16	»	0	On décharge les 50 voliges et on les recharge.
—	47	0	0	24.76	36.52	127.73	114.80	0	
—	45	0	0	22.10	33.92	126.00	112.72	0	
—	46	0	0	19.44	31.88	124.04	110.42	0	
—	0	190	0	13.93	27.38	117.34	103.02	0	On charge le rampant de gauche sur toute sa longueur.
1er mai 1865.	0	0	0	6.04	22.30	112.66	102.00	0	Les charges sont restées en place pendant 44 heures.
—	−188	0	0	10.38	26.32	114.48	105.12	0	Chaque rampant est déchargé successivement d'un cours de volige.
—	0	−190	0	10.48	26.38	116.66	104.70	0	
—	0	−190	0	11.06	28.30	119.22	106.40	0	
—	−184	0	0	13.44	32.10	122.08	107.85	0	
—	0	0	0	14.90	32.10	123.12	109.40	0	On enlève les 2 petites coutrefiches du rampant de droite.
2 mai 1865...	0	0	0	4.92	35.42	123.32	106.36	0	Les instruments sont replacés à nouveau.
—	190	0	0	1.24	31.02	120.29	103.02	0	On charge le rampant de droite dans toute sa longueur.
—	190	0	0	9.10	25.32	116.52	99.72	0	
—	−190	0	0	7.12	28.90	118.74	101.54	0	On décharge le rampant de droite dans toute sa longueur.
—	−190	0	0	5.50	33.80	121.51	103.51	0	On enlève les instruments après le déchargement.

Des supports en pierre avaient été disposés devant le tirant de la ferme centrale, au droit du poinçon et de la principale contrefiche du rampant de droite. C'est sur ces supports qu'ont été installés les cathétomètres destinés à mesurer, avec toute la précision désirable, les abaissements. Deux autres supports, placés respectivement devant la petite contrefiche du tirant du même rampant (A), et devant la grande contrefiche du rampant opposé (F), devaient seulement servir à recevoir des lunettes destinées à observer les mouvements longitudinaux, s'il s'en produisait.

Le cathétomètre du milieu de la ferme a été disposé de manière à pouvoir viser, soit le centre même du boulon d'articulation avec le tirant (D), soit un fil à plomb fixé à la fourrure du rampant de gauche (E), à une distance de $0^m,158$ de l'axe du poinçon.

Le cathétomètre du milieu de l'arbalétrier a été disposé de manière à pouvoir viser, soit le point d'articulation de la contre-fiche principale avec le tirant (C), soit un fil à plomb suspendu à la fourrure de l'arbalétrier de droite (B), à une distance de 0^m59 du point de rencontre de l'axe de la contrefiche avec celui de la fourrure même.

Toutes les hauteurs ont été mesurées, pour chaque instrument, à partir d'un plan de comparaison qui est resté le même pendant toute la durée des opérations ; les chiffres donnés par les lectures sont réunis dans le tableau de la page précédente.

Nous laisserons de côté les observations faites au moyen des deux lunettes extrêmes, qui ont seulement servi à indiquer que les déplacements latéraux ont été très-minimes, et nous pourrons alors réunir, sous une forme plus intelligible, les principaux résultats observés dans les deux tableaux suivants :

Ferme à six contrefiches.	ARBALÉTRIER		TIRANT	
	au faitage.	à la contrefiche.	au poinçon.	à la contrefiche.
Abaissements produits par la surcharge,	mil.	mil.	mil.	mil.
1° d'un cours de voliges sur le rampant de droite.	5.43	4.52	1.08	3.16
2° d'un cours de voliges sur le rampant de gauche.	5.03	4.32	2.64	2 18
3° d'un cours de voliges sur le rampant de droite.	7.81	14.16	5.96	7.82
4° d'un cours de voliges sur le rampant de gauche.	7.40	5.51	6.70	4.50
5° sur les deux cours de voliges complets.	25.67	28.51	16.38	17.66
6° sans nouvelle surcharge en 44 heures.	1.02	7.89	4.68	3.98
Relèvements produits par la décharge,				
1° d'un cours de voliges sur le rampant de droite.	3.12	4.34	1.82	4.02
2° d'un cours de voliges sur le rampant de gauche.	— 0.42	0.10	2.18	0.06
3° d'un cours de voliges sur le rampant de gauche.	1.70	0.58	2.56	1.92
4° d'un cours de voliges sur le rampant de droite.	1.45	2.38	2.80	3.80
5° des deux cours voliges complets.	5.85	7.40	9.42	9.80
Différences entre les abaissements et les relèvements.	19.82	21.11	6.96	7.86
Relèvements déterminés pendant l'enlèvement des contrefiches.	1.55	1.46	1.04	0.00

Ferme à deux contrefiches.	ARBALÉTRIER		TIRANT	
	au faitage.	à la contrefiche.	au poinçon.	à la contrefiche.
	mil.	mil.	mil.	mil.
Abaissements produits par le chargement sur le rampant de droite,				
1° d'un cours de voliges supplémentaires.	3.34	6.16	3.03	4.40
2° d'un deuxième cours de voliges supplémentaires.	3.30	7.86	3.77	5.70
3° des deux cours réunis.	6.64	14.02	6.80	10.10
Relèvements produits par le déchargement, sur le rampant de droite,				
1° du deuxième cours de voliges supplémentaires.	1.82	1.98	2.22	3.58
2° du premier cours de voliges supplémentaires.	1.97	1.62	2.77	4.90
3° des deux cours réunis.	3.79	3.60	4.99	8.48
Différences entre les abaissements et les relèvements.	2.85	10.42	1.81	1.62

Nous nous attacherons d'abord à examiner isolément les

résultats des épreuves faites sur le comble complet, avant l'enlèvement des contrefiches intermédiaires.

On reconnaît à première vue que les abaissements sont bien plus considérables pour l'arbalétrier que pour le tirant, ce qui, au milieu de la ferme, était d'ailleurs manifeste par l'indépendance absolue du poinçon qui était devenu entièrement libre dans son assemblage avec le tirant.

Le faîtage s'est abaissé de 25 millimètres, le tirant de 16 millimètres seulement, ce qui démontre que la ferme s'est surbaissée d'une manière notable, et que cet effet s'est graduellement produit, même pendant la période qui a suivi la dernière surcharge.

Les deux abaissements du tirant sont restés constamment égaux à peu près l'un à l'autre, mais le mouvement a été surtout considérable au milieu de l'arbalétrier. Si cette pièce avait conservé sa forme primitive, elle n'aurait dû s'abaisser en ce milieu que d'une quantité égale à la moitié de l'abaissement du faîtage, soit de 12.83 millimètres; son abaissement étant de 28,51, on voit qu'elle a fléchi pour son propre compte de $28.51 - 12.83 = 15^{mill},68$, ce qui tendrait à indiquer une tension insuffisante dans les tirants de la contrefiche.

Remarquons toutefois que cette flexion de $15^{mill},68$, par rapport à la longueur totale de l'arbalétrier qui est de 20 000 millimètres, ne représente cependant que 1/1275 de cette longueur; proportion de beaucoup inférieure à ce que l'on peut tolérer dans des charpentes de ce genre.

Il importe d'indiquer que, d'une manière générale, les surcharges du rampant de droite paraissent avoir produit sur l'arbalétrier qui en fait partie, des effets comparables à ceux qui sont déterminés par les charges ajoutées de l'autre côté, ce qui tendrait à faire croire à une solidarité très-complète entre les diverses parties de la ferme qui sont réunies par le tirant.

Le déchargement a donné lieu à des observations analogues: les points qui s'étaient le plus abaissés sont aussi ceux qui se sont relevés davantage, et les relèvements ont été de même plus marqués, lors de l'enlèvement du deuxième cours de solives supplémentaires.

On voit cependant que les relèvements ont été numériquement moins grands, et que les observations constatent, après le

déchargement, un abaissement permanent de 20 millimètres pour l'arbalétrier, et de 7 millimètres seulement pour le tirant.

L'abaissement maximum de 20 millimètres ne représente encore que le millième de la portée de l'arbalétrier, ou à peu près 1/2000 de la portée de la ferme.

C'est dans cet état que nous avons fait enlever les deux contrefiches secondaires du rampant de droite; les fers avaient été si peu altérés dans leur élasticité, que les ébranlements causés par cette manœuvre ont produit un relèvement, à peine appréciable il est vrai, mais de 1 millimètre en moyenne.

Nous étions donc disposés déjà à attribuer au tassement des supports ou au rapprochement des diverses surfaces en contact les petites différences observées; il eût été sans doute désirable de vérifier cette appréciation par un second chargement, mais cette opération eût été trop longue, alors que l'on presse l'achèvement de cette construction, et nous devions trouver une confirmation de ces vues par l'examen de ce qui se passerait lors du chargement que nous nous proposions de faire sur le rampant privé de ses contrefiches.

Le deuxième tableau montre que cette opération, qui aurait dû nous accuser des déplacements bien autrement grands, si une altération quelconque des matériaux se fût produite, a été, au contraire, parfaitement rassurante.

L'abaissement du faitage, pour une demi-charge, a été beaucoup moindre que la moitié de l'abaissement observé pour une charge entière dans le premier essai. Cette proportion de moitié a été exactement observée pour le point d'assemblage de l'arbalétrier et de la contrefiche conservée, mais elle a été un peu plus grande pour les deux abaissements observés sur le tirant.

D'une manière générale on peut dire cependant qu'après l'enlèvement des deux contrefiches, la ferme s'est à peu près comportée, sous l'action de la charge, de la même façon qu'avant cet enlèvement. Dans les périodes de déchargement, la ferme est, au contraire, mieux revenue que dans les premières opérations avec les contrefiches, si ce n'est, toutefois, pour ce même point d'assemblage de la contrefiche principale et de l'arbalétrier.

Ce point ne s'est relevé que d'un quart à peu près de son

abaissement, comme dans la première expérience, et le nouvel abaissement permanent s'y est encore arrêté à 10 millimètres. Il faut remarquer d'ailleurs que cette jonction constitue nécessairement le point le plus faible de la construction, l'arbalétrier étant composé de deux fers à double T, chacun de 10 mètres de longueur, réunis, à son milieu, par des plaques de recouvrement.

Les fermes ont été calculées pour une charge permanente de 57.27 kilogrammes par mètre carré et pour une charge accidentelle de 21.98, soit au total 79.25 kilogrammes.

Dans les expériences la charge permanente était représentée par le poids même des fermes, par celui du cours de voliges fixé avant toute surcharge, et par une addition d'un autre cours représentant le poids du zinc, celui des accessoires, et une première surcharge de 8 kilogrammes par mètre carré. Chaque cours supplémentaire équivalait, pour les 380 largeurs de voliges qui le composaient, à raison de 16^{k}60 par madrier, sur 10 mètres de largeur, à une charge totale de $380 \times 16.60 = 6308$ kilogrammes.

La surcharge maximum s'est donc élevée à 12 616 kilog. qui, pour une surface couverte de $38^{m}.85 \times 10^{m} = 388^{mq}.50$ forment une charge accidentelle de 32^{k},48 par mètre carré qu'il faut porter à 40^{k},48, pour tenir compte de la surcharge primitive, et en addition à l'action du vent qui était assez violent pendant la première journée des épreuves.

Les indications qui précèdent suffisent pour établir qu'au point de vue de la résistance à la charge exagérée qu'elles supportaient, les fermes sont composées suivant des règles convenables, qui concordent d'ailleurs avec les formules généralement admises.

On s'est assuré, lors du démontage du premier plancher, que les clous qui fixaient les madriers à la fourrure n'avaient pas été chassés par une tendance au déversement, mais on a mieux encore mis hors de doute la valeur convenable donnée au moment d'inertie des arbalétriers, dans le sens transversal, par une épreuve spéciale que nous décrirons également.

Il s'agissait de savoir si ce moment d'inertie était suffisant pour que le demi-arbalétrier, comprimé dans le sens de sa longueur, sous l'action de la charge du comble, entre le faîtage et

la contrefiche, ne fût pas exposé à prendre transversalement une flèche qui tendît à s'augmenter de plus en plus.

A cet effet, on a fait reposer un demi-arbalétrier sur deux couteaux placés respectivement au sommet des deux piles en maçonnerie, écartées de $9^{m},90$. On a suspendu à deux tirants articulés aux extrémités de ce dernier arbalétrier un plateau de balance, au moyen duquel on pouvait, par une charge additionnelle, déterminer un effort de compression précisément égal ou même supérieur à celui auquel la pièce est soumise dans la ferme.

Pour apprécier la flèche horizontale que la poutre prendrait dans ces circonstances, on s'est repéré sur une pièce semblable approchée à distance convenable, et l'on a déterminé, par l'emploi de règles en biseau, la distance exacte des deux repères à chaque chargement.

Les éléments numériques de cette vérification sont les suivants :

L'écartement primitif des repères était de 22 millimètres, sous le seul poids du plateau, soit 225 kilogrammes.

Par l'addition de 9 rails pesant ensemble $9 \times 220 = 1980$ kilogrammes, on a déterminé un effort de compression de 4000 kilogrammes dans le sens de l'axe de la poutre, et les repères se sont arrêtés à un écartement de 30.6 millimètres. La pièce a pris ainsi une flèche de $30.6 - 22 = 8.6$ millimètres sous une pression égale à celle sous laquelle elle travaille dans le comble pendant le montage.

Une nouvelle charge de 5 rails, soit de 1100 kilogrammes, a porté l'écartement à 62.8 millimètres. La courbure correspondante de $62.8 - 22.0 = 40.8$ millimètres serait la flèche qu'un demi-arbalétrier pourrait prendre latéralement, eu égard à sa longueur totale, s'il était soumis dans le sens de sa longueur à un effort de 6000 kilogrammes qui ne saurait être atteint pendant le montage.

Ainsi envisagée, la question des flèches latérales est, en quelque sorte, indéterminée, puisqu'elle dépend surtout des écarts produits pendant les manœuvres ; mais il était nécessaire de s'assurer par l'expérience qu'il ne se produirait, dans ces conditions, aucune flèche qui s'augmentât d'une manière permanente sous l'action de la charge. Celle à laquelle on s'est arrêté

ne représente qu'une fraction insignifiante de la portée, $0^m,0048$ par rapport à une portée de 20 mètres, ou environ un quatre-millième.

Toute chance de déversement, qui pourrait être causé par suite de la courbure primitive de quelques-uns des arbalétriers serait, d'ailleurs, facilement évitée par l'emploi de tirants en croix de Saint-André, placés immédiatement sous le plancher, dans le plan même des fourrures, et disposées de manière à relier deux à deux les points d'assemblage des petites contrefiches de deux fermes éloignées avec les arbalétriers correspondants.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers,

Paris, le 10 mai 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

LE PLANIMÈTRE POLAIRE

de M. AMSLER (de Schaffhouse.)

Extrait d'une Notice publiée par MM. Piccard et Cuenoud, dans le Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, à Lausanne.

PAR M. CH. LABOULAYE.

---

1. L'ingénieux planimètre d'Oppikofer (de Berne), le premier appareil qui ait vraiment fourni la solution du curieux problème de l'évaluation mécanique des surfaces, a, comme on sait, pour organe principal un cône sur lequel tourne par simple frottement, une roue dont la rotation est enregistrée par un compteur. La figure à mesurer étant supposée divisée en rectangles dont deux côtés sont parallèles à la direction que suit le cône en se déplaçant, et les deux autres perpendiculaires à cette direction, et, par suite, parallèles au déplacement de la roulette, on obtient la quadrature du rectangle en suivant avec un index les premiers côtés en entraînant le cône, et les seconds en entraînant la roulette.

Ce second mouvement serait de nulle utilité si, au lieu d'un cône, on supposait un cylindre; le compteur ne marquerait que la somme des deux premiers côtés, sans rien indiquer relativement aux deux autres, on n'aurait pas un planimètre. C'est donc la propriété du cône d'offrir, pour les deux positions de la roulette, deux sections différentes, qui permet d'obtenir la quadrature, comme on le voit facilement quand on établit la théorie bien connue du planimètre d'Oppikofer. Nous voulions seulement faire remarquer que la propriété rappelée ici n'est autre chose qu'une propriété des triangles semblables formés dans le plan passant par l'axe du cône, par celui-ci, sa génératrice, et

les deux rayons des cercles de contact avec la roulette, dans ses deux positions successives.

M. Piccard est, en effet, arrivé à une démonstration élémentaire du planimètre d'Oppikofer, fondée sur les propriétés des triangles semblables, qui conduisent directement à l'explication du planimètre d'Amsler; ce qui offre l'avantage de montrer que ces appareils, tout différents qu'ils paraissent en apparence, sont en réalité équivalents. Nous donnerons auparavant la description d'une espèce d'abaque auquel la considération des triangles semblables a conduit M. Piccard, et qui est tellement simple qu'il paraît susceptible d'applications fréquentes.

Abaque de M. Piccard.

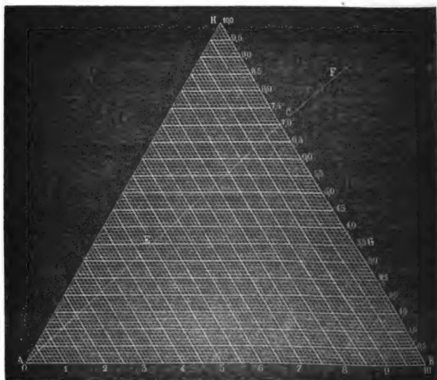


Fig. 1.

Soient les triangles semblables ADE et ABC, nous aurons la proportion

$$AD : DE :: AB : BC.$$

Si nous faisons AB = 10 par exemple, nous aurons

$$AD \times BC = DE \times 10,$$

ou comme BG = DE

$$AD \times BC = BG \times 10.$$

Ce résultat permet de construire un abaque pouvant servir à opérer numériquement la multiplication et la division et à calculer graphiquement avec le compas, sans aucun calcul, la surface des figures planes qui auraient été décomposées en triangles ou en rectangles.

Construction. — Prenez un triangle quelconque, le triangle équilatéral de préférence; divisez les côtés en 100 parties égales: menez des parallèles entrecoupées par des lignes plus fortes, de 5 en 5, pour reposer la vue; placez les chiffres de 1 à 10, de A en B; placez les chiffres de 0,5 à 10,0 de B en H; placez enfin au point A comme pivot, un fil fin, ou le tranchant d'une règle mobile autour de ce point, AF.

3. *De la multiplication.* — Pour obtenir le produit de deux facteurs inférieurs à 10, par exemple 5 × 7, placez la ligne AF sur l'un des facteurs, par exemple sur 7 en C; prenez le facteur 5 en D. Remontez la parallèle DE passant en D jusqu'à sa rencontre avec AF en E; suivez l'autre parallèle EG, le nombre 3,5 en G, multiplié par 10 donnera 35 pour résultat de 5 × 7. On aura de même à première vue les divers multiples de 7, par tous les nombres qui, marqués sur AB, sont le point de départ de toutes les parallèles à BH qui rencontrent AF.

En donnant aux côtés du triangle une longueur de 3 décimètres environ, on pourra obtenir exactement les produits inférieurs à 10,000, de deux facteurs inférieurs à 100, pourvu qu'on ait soin de déterminer, mentalement, quel doit être le chiffre des unités du produit. Ainsi, pour avoir le produit de 97 par 86, on détermine le chiffre 2 des unités, et l'instrument, par sa lecture, donnera avec certitude le chiffre des dizaines, des centaines et des mille, soit le nombre 8340 qui devient 8342 par l'adjonction

du chiffre 2 des unités. Mais si l'on voulait obtenir exactement le produit inférieur à un million de deux facteurs inférieurs au nombre 1000, les côtés du triangle devraient atteindre à peu près 4 mètres de longueur. L'exactitude de cet instrument est donc fort limitée, mais il n'en est pas moins précieux, pouvant donner facilement et simplement des résultats approchés suffisants dans nombre de cas.

4. *De la division.* — Pour obtenir le quotient d'un nombre inférieur à 100, par un diviseur inférieur à 10, ce quotient devant aussi être inférieur à 10 par exemple 35 divisé par 7 : placez la ligne AF sur le diviseur 7 en C; prenez le dividende 35 en G (produit du diviseur et du quotient qui doit être multiplié par 10) et suivez la ligne GE jusqu'à sa rencontre avec la ligne AF en E ; suivez la parallèle ED, le chiffre 5 en D indiquera le quotient cherché.

Dans la position actuelle de la ligne AF passant par le diviseur 7 en C, on peut obtenir de même les quotients par 7 d'autres nombres inférieurs à 70, ces quotients devant être inférieurs à 10.

5. *Du calcul des surfaces en général.* — Si l'on veut calculer l'aire d'une figure decomposée en triangles, sans opérer aucun calcul numérique, il faudra diviser la ligne BH des produits en 50 parties égales au lieu de 100. Puis, portant la hauteur du triangle sur BH, de B en C, par exemple, et la base sur AB, de A en D, par exemple, la ligne DE représentera graphiquement la surface du premier triangle, et on en porte la valeur sur la ligne BH, servant d'échelle, au point G. On obtiendra de même la surface des autres triangles au moyen d'autres lignes qui, réunies bout à bout sur la ligne BH servant d'échelle, conduiront à la valeur numérique de l'aire totale de la figure cherchée, en opérant graphiquement, sans avoir fait un seul calcul.

DESCRIPTION DU PLANIMÈTRE DE AMSLER.

6. Le planimètre de M. Amsler a été construit dans le but d'obtenir un appareil plus simple, moins coûteux que celui d'Oppikofer (son prix ne s'élève qu'à 50 ou 80 francs selon la gran-

deur). La figure 2 le représente de demi-grandeur. Il se compose d'une tige A à section carrée, portant à l'une de ses extrémités une pointe F, et à l'autre une coulisse H qui glisse sur elle à frottement doux. A cette coulisse est fixée, à pointes, une roulette D dont le rebord repose sur le papier et qui est divisée sur son contour; un vernier L fixe, sert à apprécier les fractions de division de la roulette. L'axe de celle-ci porte une vis sans fin, au moyen de laquelle un petit pignon K tourne d'une dent à chaque tour que fait la roulette D; l'axe vertical de ce petit pignon porte une roue G divisée en dix parties égales. Sur le devant de la pièce H vient s'articuler, à pointe, une tige B terminée en E par un piquoir qui peut s'implanter dans le papier.

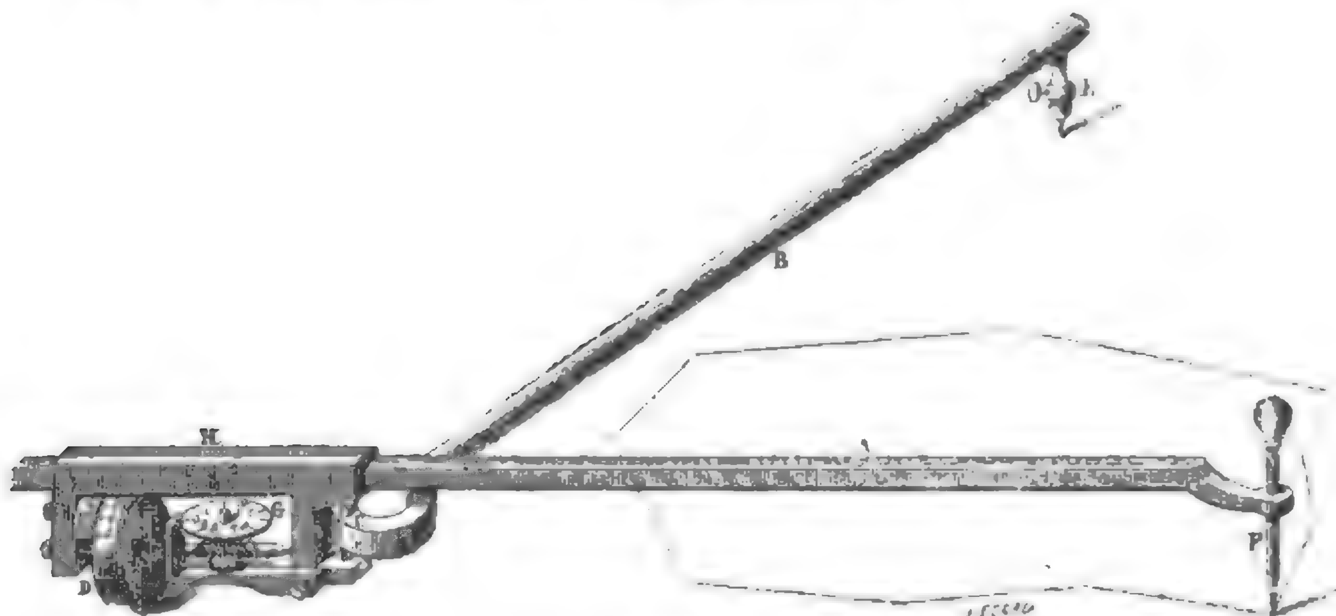


Fig. 2.

Pour se servir de l'instrument, on fait glisser la coulisse sur la tige A jusqu'à ce que la longueur CF soit en rapport avec l'échelle du dessin que l'on veut évaluer. Pour faciliter cette opération, on a marqué sur la tige A les traits qui doivent arriver à la partie antérieure de la coulisse pour telle ou telle échelle déterminée.

L'instrument étant réglé, on fixe la pointe E en dedans ou en dehors de la figure dont on veut faire la quadrature, on fait tourner la roue D de manière à ramener le zéro sur sa graduation en coïncidence avec le zéro du vernier L, et le zéro de la roue G en face d'un repère fixe. On marque exactement le point de départ du traçoir F, et l'on parcourt avec ce traçoir le contour de la figure de gauche à droite (comme les aiguilles d'une

montre), jusqu'à ce que l'on revienne exactement au point de départ. On lit alors sur la roue G le nombre de divisions parcourues, qui indique les centaines du résultat, et sur la roue D les dizaines et les unités; les dixièmes d'unité peuvent s'apprécier au moyen du vernier.

Cette lecture donne immédiatement la surface cherchée lorsque la pointe E a été fixée en dehors de la surface sans calculer. Si, au contraire, la pointe E a été fixée à l'intérieur de cette surface, il faut ajouter à l'indication de l'instrument un nombre constant qui est gravé sur la tige A, à côté du trait qui affleure l'extrémité de la coulisse.

Supposons, pour éclaircir les explications qui précèdent, que l'on ait fait arriver à l'extrémité de la coulisse le trait marqué $100^{mm.c.}$; chaque division de la roulette D indiquera une surface parcourue de 100 millimètres carrés. Si, après avoir parcouru le contour de la figure, la roue G indique 3, et la poulie D 47,8, la surface sur 347,8 unités, soit $100 \times 347,8 = 34780$ millimètres carrés, la pointe E étant fixée en dehors de la figure. Si la pointe a été fixée dans l'intérieur, il faudra ajouter à la lecture 347,0 le nombre 1912,6, qui se trouve gravé en face du trait $100^{mm.c.}$, en sorte que la surface suive 2360,4 unités, soit $100 \times 2260,4 = 226040$ millimètres carrés.

7. Il faut prendre garde que lorsque le point E est placé dans l'intérieur de la figure, l'indication de l'instrument peut être négative, en sorte qu'il faudrait alors la retrancher du nombre constant.

Pour éviter l'inconvénient de s'assurer si la lecture doit être positive ou négative, il vaut mieux ne pas partir de zéro, et procéder de la manière suivante :

Le compteur est disposé pour marquer une quantité assez notable à l'origine, dont on fait d'abord la lecture. Supposons que celle-ci donne 235,4 par exemple.

On parcourt le contour de la figure avec le traçoir, et quand on est revenu exactement au point de départ, on fait une seconde lecture. Soit, par exemple, pour celle-ci 475,2. On ajoute à cette lecture le nombre constant 1912,6, ce qui donne 2883,4, et l'on retranche de cette somme la première lecture 235,4, ce qui donne 2153,0 unités, soit 215300 millimètres carrés. L'indica-

tion de l'instrument équivaut à une indication négative quand la seconde lecture donne un nombre inférieur à celui que donne la première.

8. *Théorie du planimètre d'Amsler.* — Nous allons voir maintenant, en formulant la théorie de l'instrument, la raison du mode d'opérer qui vient d'être indiquée. Cherchons d'abord à bien définir les principes sur lesquels repose l'instrument.

Tandis que dans le planimètre d'Oppikofer on suppose que les figures dont on cherche l'aire sont décomposées fictivement en rectangles, qu'on suppose prolongés jusqu'à une limite d'action de l'instrument répondant au sommet du cône, on doit, dans le planimètre d'Amsler, considérer la figure à mesurer comme décomposée en une infinité de secteurs dont les arcs coïncideraient avec le périmètre de la figure à calculer, et dont les centres se confondraient avec le pivot, limite de l'action de l'instrument. Or, il est bien évident que si une roulette tournant autour d'un axe, qui serait le rayon d'un cercle, suivait le contour de l'arc d'un secteur circulaire, sa rotation serait égale à ce contour, et, par suite, proportionnelle à la surface du secteur, pourrait par suite servir à la mesurer.

Tel est le principe du planimètre polaire, mais la nécessité de pouvoir suivre les contours de secteurs de rayons différents et diverses autres conditions de la pratique forcent à ne pas laisser la roulette sur le rayon, à la placer sur la barre portant le traçoir qui est articulée avec ce rayon.

On est arrivé ainsi à la disposition représentée plus haut, et les secteurs se présentent alors à l'instrument comme le représente la figure 3, le pôle étant extérieur au polygone à mesurer.

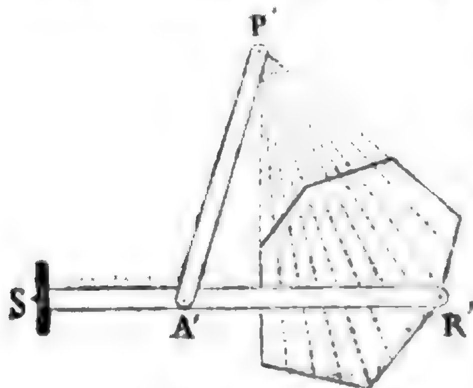


Fig. 3.

On comprend bien que l'index, en parcourant les arcs des grands secteurs, fait cheminer la roue dans un certain sens, et qu'en revenant en sens contraire les indications sont de signe contraire, que si les premières mesurent la surface des grands secteurs, les autres mesurent la surface des petits, et que le résultat marqué par l'instrument sera la mesure cherchée. On voit bien

aussi que si le pivot est situé à l'intérieur du polygone, il n'y a plus de surface d'emprunt, de petits secteurs auxiliaires.

Mais le principe de la mesure du secteur par la mesure des arcs parcourus par une roulette placée sur un rayon tournant autour du centre et se déplaçant sur la circonférence s'applique-t-il aux dispositions qu'il a fallu adopter, c'est-à-dire au placement sur le côté de la roulette montée sur une barre articulée avec le rayon pour éloigner la roulette de la figure, où elle empêcherait de voir le chemin qu'elle doit suivre, ne pourrait glisser le long d'une règle servant à suivre les contours d'un polygone, etc. Il reste à prouver qu'on a bien la mesure des surfaces avec cette disposition, en suivant les côtés d'un polygone, quelle que soit leur direction ; c'est ce que nous ferons en établissant d'abord quelques propositions.

9. On sait que si un cercle roule, sans glisser, sur une droite qui lui est tangente, un point quelconque de la circonférence parcourt, dans ce mouvement, un chemin égal à celui que décrit le centre.

Par suite, quand l'axe d'une roulette pouvant tourner en s'appuyant sur un plan parallèle à cet axe, se transporte parallèlement à lui-même, un point de la circonférence de la roulette parcourt un arc égal au chemin parcouru par l'axe.

Si l'axe se meut dans le sens de sa longueur, la roulette glisse sans tourner.

Enfin si le point de contact de la roulette et du plan parcourt sur celui-ci une droite quelconque CC′ (fig. 4), la roulette glisse et tourne tout à la fois, et l'arc parcouru par un point quelconque de sa circonférence dépend de l'angle que fait la direction CC′ avec l'axe de la roulette.

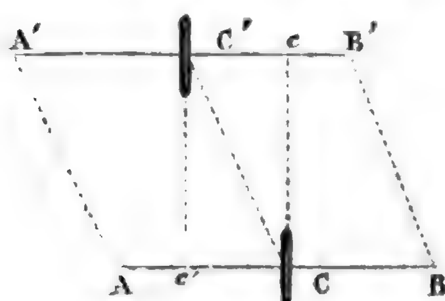


Fig. 4.

En désignant par α l'angle C′Cc, on peut décomposer le mouvement de la roulette suivant CC′ en un mouvement de glissement suivant C′c et un mouvement de roulement suivant Cc; la roulette ne tournera qu'en vertu de ce second mouvement, en sorte que le chemin Cc parcouru par un point de la circonférence est donné par l'équation : $Cc = CC' \cos \alpha$.

α étant l'angle de la direction CC' avec le plan de la roulette.

Nous pouvons passer maintenant à la démonstration principale.

10. En réduisant à des lignes les tiges qui composent le planimètre d'Amsler, on peut le considérer comme formé de deux tiges de longueurs invariables, AC et BD, articulées en A. Le point C est fixe, l'extrémité B suit le contour de la figure à mesurer et l'extrémité D porte une roulette dont le plan est perpendiculaire à BD (fig. 5).

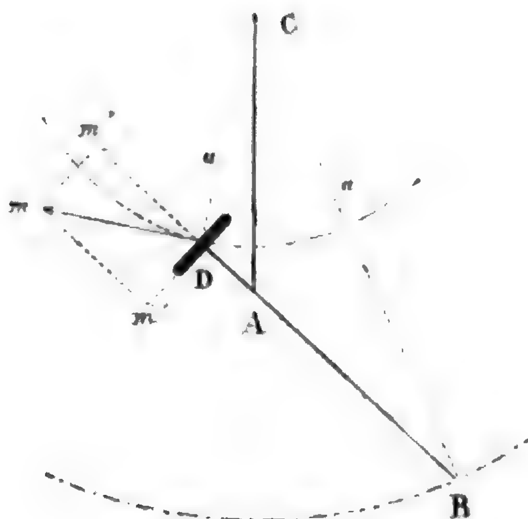


Fig. 5.

Supposons d'abord que le point B décrive un cercle de rayon a et dont le centre soit en C. Il est évident que par suite de l'invariabilité du triangle ABC, l'instrument conserve une figure constante, en sorte que le point de contact D, de la roulette et du plan, décrit un cercle concentrique au premier, et dont je désigne le rayon par a'.

En décomposant, comme ci-dessus, le mouvement de la roulette suivant les directions Dm' et Dm'', on aura, en désignant par e, le chemin parcouru par le point D sur le cercle CD, par e' l'arc parcouru à la circonférence de la roulette, et par α l'angle mDm' :

$$e' = e \cos \alpha \qquad (1).$$

Pour déterminer l'angle α en fonction du rayon a du cercle qui parcourt le point B on remarque que le triangle CDA donne :

$$\overline{CA}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{DA}^2 - 2\,\overline{CD} \times \overline{DA} \cos CDA.$$

ou, en observant que CDA $= 180° - \alpha$, car CD$m'' = m$Dm', les

lignes des deux angles étant perpendiculaires les unes aux autres, et posant CA = R, DA = r, il vient :

$$R^2 = a'^2 + r^2 + 2\,a'r \cos \alpha \qquad (2).$$

Le triangle CDB donne également :

$$\overline{CB}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{DB}^2 - 2\,\overline{CD} \times \overline{BD} \cos CDA$$

et en posant AB = l :

$$a^2 = a'^2 + (r + l)^2 + 2\,a'\,(r + l) \cos \alpha \qquad (3).$$

Retranchant (2) de (3), on a :

$$a^2 - R^2 = 2\,rl + l^2 + 2\,a'\,l \cos \alpha,$$

d'où

$$a' \cos \alpha = \frac{a^2 - (R^2 + l^2 + 2\,rl)}{2\,l}. \qquad (4)$$

Quand le point B décrit un arc de cercle dont la longueur est E, le rayon fictif CB parcourt un secteur dont la surface est :

$$\frac{1}{2}\,E \times CB, \text{ ou } \frac{1}{2}\,Ea.$$

Dans le même temps, le point D décrit un arc semblable e, puisque la figure est invariable, lié à E par la proportion

$$\frac{e}{E} = \frac{a'}{a} \text{ d'où } e = \frac{Ea'}{a},$$

et la roulette développe un chemin e' égal à $e \cos \alpha$ soit :

$$\frac{E\,a' \cos \alpha}{a}.$$

En remplaçant, dans cette expression, $a' \cos \alpha$ par sa valeur (4), on trouve :

$$e' = \frac{E}{a} \cdot \frac{a^2 - (R^2 + l^2 + 2\,r\,l)}{2\,l} = \frac{E\,a}{2l} - \frac{E}{2\,a\,l}\,(R^2 + l^2 + 2\,r\,l),$$

d'où $$e'\,l = \frac{E\,a}{2} - \frac{E}{2\,a}\,(R^2 + l^2 + 2\,r\,l) =$$

$$\text{surf. secteur} - \frac{E}{2\,a}\,(R^2 + l^2 + 2rl).$$

Le rapport $\frac{E}{a}$ de l'arc E à son rayon a est égal à la longueur

ω d'un arc semblable à E pris dans un cercle de rayon 1 ; on a donc : surf. secteur $= e'l + \frac{1}{2}\omega(R^2 + l^2 + 2rl) = e'l + \frac{1}{2}\omega H$ (5)

en appelant H la quantité $R^2 + l^2 + 2rl$, qui est constante, dans laquelle ne figurent que des quantités invariables pour un même état de l'instrument.

11. Supposons maintenant que le pôle de l'instrument étant en C, on fasse parcourir au traçoir B les arcs FG, IK, LM de plusieurs secteurs ayant pour centre C (fig. 6), et que l'on ramène ensuite ce traçoir en un point M' situé sur le rayon extrême, à une distance CM' = CF.

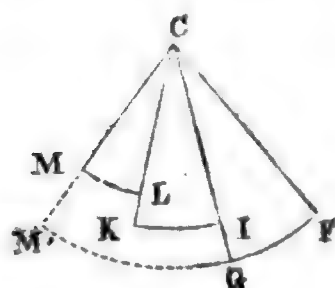


Fig. 6.

L'arc total parcouru par la roulette dans ce mouvement se compose évidemment de trois parties :

1° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir B sur les arcs FG, IK, LM.

2° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir sur les rayons GI, KL ;

3° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir sur le rayon MM'.

Il est évident que l'arc parcouru pendant ce dernier trajet est égal et de sens contraire à celui mentionné à 2°, la roulette fait le même chemin dans deux sens différents, lorsque le traçoir se ment suivant le rayon fictif CB (fig. 5), en montant ou en descendant d'une même quantité, en tournant autour du point A, en produisant les mêmes figures.

En définitive, l'instrument n'indique que l'arc parcouru pendant que le traçoir suivait les arcs FG, KI, LM. Si l'on désigne par ω_1, ω_2, ω_3, les arcs de rayon = 1, et semblables à FG, IK, LM, par e'_1, e'_2, e'_3, les arcs correspondants parcourus par la roulette, par ω la somme $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$, et par e' la somme $e_1' + e'_2 + e'_3$, on aura :

$$\text{Surf. CFG} = e'_1\, l + \frac{1}{2}\omega_1 H$$

$$\text{Surf. CIK} = e'_2\, l + \frac{1}{2}\omega_2 H$$

$$\text{Surf. CLM} = e'_3\, l + \frac{1}{2}\omega_3 H$$

$$\text{Surf. totale} = e'\, l + \frac{1}{2}\omega H \qquad (6)$$

Si la somme des angles des secteurs valait 4 angles droits, l'ensemble des secteurs formerait un contour complet, une surface continue dans l'intérieur de laquelle se trouverait le point C. On aurait, dans ce cas, $\omega = 2\pi$, d'où

$$\text{Superficie totale} = e'l + \pi(R^2 + l^2 + 2rl).$$

12. Supposons ensuite que l'on veuille évaluer la somme des surfaces de plusieurs trapèzes circulaires FGG'F', IKK'I', etc., dont les côtés iraient aboutir en C (fig. 7); on aura à évaluer, comme précédemment, la surface CFGIK...P, puis la surface CF'G'I'K'...P', et à retrancher celle-ci de la première. Pour cela on fera partir le traçoir B du point F, et on lui fera suivre le contour FGIKL...PP'N'M'...G'F'F, en ayant soin de le ramener exactement au point de départ.

Cela fait on aura $\omega = 0$, puisque la somme des angles parcourus par le rayon CB dans un sens est égal à celle des angles parcourus en sens contraire, en sorte que la formule (6) donne pour ce cas :

$$\text{Surf. totale} = e'\,l.$$

13. *Cas général.*—Nous pouvons maintenant déduire, de ce qui précède, le moyen d'évaluer une surface plane terminée par un contour quelconque. En effet, si le pôle de l'instrument est placé hors de la figure à évaluer, en P' (fig. 3), on pourra considérer cette figure comme la somme d'un nombre infini de trapèzes circulaires élémentaires ayant pour sommet commun le point P', et dont le contour extérieur analogue à celui FGIK... de la figure précédente, se confond avec chaque côté du polygone successivement (comme dans le triangle de Galilée une droite ligne portant le sommet des rectangles élémentaires, limite le triangle dont l'aire représente le produit cherché), en sorte qu'en désignant par e' l'arc développé par la roulette, on aura, comme ci-dessus :

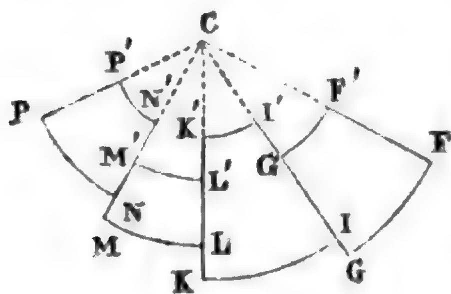


Fig. 7.

$$\text{Surface} = e'\,l.$$

Si, au contraire, le pôle C de l'instrument est placé à l'inté-

rieur de la figure dont on veut connaître la surface, on pourra toujours considérer la figure polygonale fermée comme la somme d'un nombre infini de secteurs circulaires, ayant pour sommet le point C, et pour somme angulaire 4 droits, en sorte que l'on aura comme précédemment :

$$\text{Surface} = e' l + \pi (R^2 + l^2 + 2 r l).$$

14. Le nombre $\pi (R^2 + l^2 + 2 r l)$ est constant pour chaque état du planimètre; c'est le nombre que l'on voit gravé à côté du trait que l'on fait affleurer au bord de la coulisse. Quant au produit $e' l$, il peut être lu immédiatement sur la roulette si l'on a soin de graver à côté de chaque trait de division de celle-ci le produit précédent au lieu de la simple valeur de e'.

Au reste, on peut calculer le rayon de la roulette de façon qu'un tour corresponde à une surface déterminée. Par exemple, si on prend pour unité de surface le centimètre carré, et si un tour de la roulette doit correspondre à une surface d'un décimètre carré, on devra avoir, en désignant par x le rayon de la roulette :

$$100 = 2\pi x l, \text{ d'où } x = \frac{100}{2 \pi l}$$

15. Dans la plupart des planimètres construits par M. Amsler, le rayon x de la roulette est de 1 centimètre. La longueur l du bras qui fait faire un tour de la roulette pour une surface de 1 décimètre carré est dans ce cas :

$$l = \frac{100}{2 \pi} = 159^{\text{mm}},1.$$

Le calcul du nombre constant s'effectue facilement si l'on connaît les dimensions de l'instrument. Ainsi pour celui dont il vient d'être parlé, pour $l = 15,91$ centimètres, si l'on prend $R = 15,8$ centimètres et $r = 3,33$ centimètres, on aura :

$$\pi (R^2 + l^2 + 2 r l) = 1912,6.$$

16. Nous arrêtons ici l'extrait de l'intéressant mémoire de MM. Piccard et Cuenoud. Nous ne donnerons parmi diverses vérifications de la formule fondamentale qu'ils rapportent que la suivante qui fait bien comprendre la signification du nombre

constant qui doit être ajouté dans le cas d'une rotation complète autour d'un pôle.

Lorsque la direction de la roulette passe par le pôle C, le plan de cette roulette est dirigé normalement au chemin parcouru par le point de contact D, en sorte que la roulette ne tourne pas. L'indication de l'instrument est donc nulle, et si l'on fait parcourir au point B une circonférence complète autour du pôle C, la surface de ce cercle doit être égale au nombre constant.

Or, on peut s'assurer qu'il en est réellement ainsi, puisque le triangle CDB (fig. 5) devient rectangle dans ce cas, ce qui donne :

$$\mathrm{CB}^2 = a'^2 + (\mathrm{DA} + \mathrm{AB})^2 = \overline{\mathrm{CA}}^2 + \overline{\mathrm{AB}}^2 + 2\,\mathrm{DA} \times \mathrm{AB},$$

car $a'^2 = \overline{\mathrm{CA}}^2 - \overline{\mathrm{DA}}^2$, ou $\overline{\mathrm{CB}}^2 = \mathrm{R}^2 + l^2 + 2\,rl$

et $\pi\,\overline{\mathrm{CB}}^2$ ou surface du cercle décrit $= \pi\,(\mathrm{R}^2 + l^2 + 2\,rl)$.

17. La théorie de l'élégant petit instrument sur lequel nous avons cru devoir attirer l'attention de nos lecteurs se trouve bien élucidée, ce nous semble, par les déductions qui précèdent, et qui, bien que fondées sur des théories élémentaires, n'en sont pas pour cela moins satisfaisantes. Il ne peut sans doute être affranchi de l'inconvénient du glissement inhérent à tous les instruments à roulettes, mais en répétant deux ou trois fois l'opération si rapide de la mesure d'une surface, en changeant la position du pôle pour faire agir la roulette dans des conditions différentes, on doit obtenir des vérifications pouvant donner confiance dans les résultats obtenus.

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE

DES

MACHINES A AIR CHAUD,

PAR M. ACHILLE CAZIN.

I. — Quand une nouvelle doctrine est fondée, quand ses principes essentiels sont établis, il est important de la vulgariser, d'en préparer l'application par la recherche de méthodes élémentaires.

La nouvelle théorie de la chaleur doit aujourd'hui contribuer au progrès de la mécanique; il faut qu'elle guide les inventeurs, surtout lorsqu'il s'agit de machines motrices telles que les machines à gaz, qui commencent à se répandre, et sur lesquelles tant d'espérances sont fondées. Les formules analytiques qui servent actuellement au développement de cette théorie sont un obstacle pour beaucoup de personnes; l'incertitude qui règne sur les données expérimentales qu'il faut introduire dans ces formules est la source de nouvelles difficultés. Si l'on connaissait les lois qui régissent les phénomènes de la chaleur, les expressions analytiques se traduiraient en langage ordinaire, et les règles qu'il faut suivre pour calculer les effets mécaniques de la chaleur pourraient être formulées explicitement. Mais il résulte de l'emploi de la température prise comme donnée, et du faible écart des limites entre lesquelles sont restreintes les observations, que les phénomènes sont partiellement représentés par des formules empiriques dont l'introduction dans les expressions analytiques est difficile. Or, ces formules empiriques se traduisent aisément en tracés graphiques; de sorte que, si l'on réussit

à grouper les données du calcul par une telle méthode, on pourra arriver au résultat cherché avec une certaine approximation.

La plupart des auteurs qui ont écrit sur la théorie mécanique de la chaleur ont eu recours à des figures de géométrie, pour établir leurs diverses propositions; mais le plus souvent ces figures ne sont qu'un auxiliaire pour faciliter les raisonnements et le calcul des formules. Macquorn Rankine a, je crois, le premier, jeté les bases d'une exposition purement géométrique, dans un mémoire publié en 1854 dans les *Transactions philosophiques de la Société royale de Londres*. Il a ainsi retrouvé d'une manière très-élémentaire les principales propositions auxquelles il était arrivé par le calcul seul, dans divers travaux publiés antérieurement dans les *Transactions de la Société d'Édimbourg*, en partant d'une hypothèse sur la nature de la chaleur. Dans le même mémoire, le savant anglais a posé très-généralement les principes relatifs à l'emploi de la chaleur dans les machines à air; mais la règle géométrique qui lui sert de point de départ n'est pas applicable directement aux calculs numériques ; et, en outre, il n'a envisagé que deux classes de machines à air qu'il regarde comme des types.

Désirant donner aux personnes qui s'occupent de ces moteurs une méthode très-élémentaire, dans laquelle on n'emploie que des tracés graphiques, je n'ai pas eu de peine à trouver une règle fondamentale assez simple pour être préférée aux méthodes ordinaires. Je l'ai appliquée aux principales machines à air qui ont été exécutées ou projetées, en adoptant pour leur classification les principes développés par M. Hirn dans son *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur* (1862). En donnant des définitions convenables de deux courbes, usitées dans la nouvelle théorie, j'ai pu présenter dans un ordre rationnel une suite de propositions sur lesquelles repose toute la méthode.

II. — PRINCIPES FONDAMENTAUX.

1° *Lorsqu'un corps, après avoir éprouvé divers changements de volume et de pression, par suite de l'action qu'exercent sur lui les corps voisins, est revenu à son état initial, si une certaine quantité de chaleur semble anéantie, une certaine quantité de travail méca-*

nique est créé par le corps; et, réciproquement, si une certaine quantité de travail mécanique est anéantie par le corps, une certaine quantité de chaleur semble créée.

Il est nécessaire d'expliquer cet énoncé par un exemple :

Lorsqu'un kilogramme d'eau a servi dans une machine à vapeur à produire du travail, il a pris de la chaleur aux corps extérieurs pendant une partie de la succession des changements qu'ont subis son volume et sa pression, et il en a restitué pendant l'autre partie : la chaleur gagnée surpasse la chaleur restituée et la différence semble anéantie; il y a eu en même temps création de travail moteur, le piston étant déplacé en surmontant une résistance extérieure. Il serait plus exact de dire qu'il y a création de force vive; car le fait consiste en ce que les masses mobiles de la machine acquièrent de la vitesse, sans que cela résulte d'une vitesse perdue par d'autres masses, et l'on sait que la force vive est le produit de la masse par le carré de la vitesse. Mais comme la moitié de ce produit représente le travail mécanique effectué, et qu'on se servira seulement de cette dernière sorte de quantité, on peut employer l'énoncé précédent.

Supposez le jeu de la machine renversé, de telle sorte que l'on fasse fonctionner ses organes, en adaptant à l'arbre une force motrice convenable, afin de surmonter la résistance que la vapeur oppose au mouvement du piston : l'eau éprouvera la même suite de changements de pression et de volume, mais dans un ordre inverse, et la quantité de chaleur cédée aux corps voisins surpassera celle qui leur a été enlevée; il y aura donc création de chaleur. De plus, il y aura une certaine quantité de travail moteur anéantie; on dirait, en employant le langage de la mécanique ordinaire, qu'il y a perte de force vive.

Ce principe est l'expression des faits; M. Hirn a réalisé directement la première expérience sur la machine à vapeur. (*Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur*, 1862.)

2° *Le rapport de la quantité de travail mécanique créée ou anéantie à la quantité de chaleur anéantie ou créée est un nombre constant; on l'appelle équivalent mécanique de la chaleur.*

Ce principe est également l'expression des faits. Il résulte d'un très-grand nombre d'expériences faites par divers observateurs,

et avec des procédés très-variés, que 425 kilogrammètres correspondent à 1 calorie[1]. Ce nombre ne saurait être très-éloigné de la vérité; et d'ailleurs on remarquera dans ce qui va suivre que plusieurs des résultats obtenus par ma méthode sont indépendants de sa valeur.

III. — REPRÉSENTATION GÉOMÉTRIQUE DES CHANGEMENTS DE VOLUME ET DE PRESSION D'UN CORPS.

La méthode imaginée par M. Clapeyron à l'occasion d'un travail analytique sur la *Théorie* de Sadi-Carnot est aujourd'hui usitée dans tous les ouvrages relatifs à la nouvelle théorie.

Chaque état du corps est représenté par un point A (*fig.* 1), dont l'ordonnée AD mesure la pression exercée sur la surface du corps, rapportée à l'étendue d'un mètre carré, et évaluée en kilogrammes; et dont l'abscisse OD mesure le volume du corps évalué en mètres cubes.

Lorsque le corps change d'état, la variation de son volume et de sa pression est représentée par une courbe dont chaque point a les coordonnées ainsi définies : si le volume augmente, il y a travail transmis par le corps aux corps extérieurs, ou, ce qui est synonyme, *travail externe produit*. Il est mesuré par l'aire de la courbe, l'unité de surface étant un rectangle dont la hauteur est la longueur d'ordonnée qui mesure le kilogramme, et dont la base est la longueur d'abscisse qui mesure le mètre cube.

En effet, soit AB, la courbe dont les points représentent les états successifs du corps, lorsqu'on va de A vers B : au point m, l'ordonnée mp mesure la pression en kilogrammes sur 1 mètre carré de surface; l'abcisse op mesure le volume du corps en mètres cubes. Pendant un accroissement infiniment petit de volume pp', si la pression restait constante, le point m' représenterait le nouvel état du corps. Or, supposez que le corps soit un gaz contenu dans un cylindre ayant 1^{m^2} de section, et supportant un piston pesant mp kil. : la hauteur du cylindre occupé par le gaz serait op^{m}, et l'accroissement de volume pp' correspondrait à un déplacement du piston de pp' mètres; de sorte que le tra-

1. Le kilogrammètre est le travail que représente l'élévation d'un poids de 1 kil. à 1 mètre de hauteur. La calorie est la chaleur qu'absorbe 1 kil. d'eau pour être élevé de 0° à 1°.

vail produit serait $pp' \times mp$=aire $mm'p'p$ (kilogrammètres). On démontre aisément que le même nombre mesure le travail produit, quelles que soient la forme et la nature du corps.

En regardant le travail total produit de A en B comme la somme des travaux élémentaires analogues à $mm'pp'$, on voit que l'on doit calculer la limite d'une somme de rectangles, qui est exactement l'aire ABCD. On peut faire ce calcul approximativement par la méthode des trapèzes, quand on connaît un certain nombre d'ordonnées qui correspondent à des abscisses également connues. Si le corps éprouve les mêmes changements d'état dans un ordre inverse, de B vers A, de sorte que le volume diminue, il y a travail mécanique transmis par les corps extérieurs au corps considéré, ou, ce qui est synonyme, *travail externe dépensé*. La même aire ABCD mesure ce travail en kilogrammètres.

IV. — DÉFINITION DES COURBES ISODYNAMIQUES ET IDIODYNAMIQUES.

Le plus souvent, l'action du corps sur les corps extérieurs consiste en travail mécanique produit ou dépensé, et en chaleur perdue ou gagnée.

Supposez que, dans la succession d'états représentée par la ligne AB, il y ait q calories perdues, fournies par le corps aux corps extérieurs, lorsqu'on va de A vers B ; ou bien gagnées, prises par le corps aux corps extérieurs, si l'on va de B vers A : l'équivalence de la chaleur et du travail permet de calculer un certain nombre $\text{E} \times q$ de kilogrammètres correspondant à cette chaleur, et mesurable par une aire de courbe, comme le travail externe. Le facteur E est l'équivalent mécanique d'une calorie. On obtient cette aire à l'aide de deux espèces de courbes qui représentent deux espèces particulières de changements d'états.

Courbes isodynamiques. — Concevez un changement de volume et de pression, tel que de la chaleur soit gagnée par le corps, en même temps qu'il produit une quantité de travail externe équivalente : la courbe qui représente cette succession d'états sera appelée *ligne isodynamique*.

Soit AX, une pareille courbe : l'aire AXED, qui mesure le

travail produit, depuis l'état A jusqu'à l'état X, a pour valeur numérique $E \times q$, q étant le nombre de calories gagnées par le corps. Lorsque le corps éprouve les mêmes changements d'états dans un ordre inverse de X vers A, la même aire XADE mesure le travail dépensé, équivalent à la même quantité de chaleur perdue par le corps.

En général, pour un état initial du corps non représenté par un point de la ligne AX, il y aura une courbe de la même espèce; de sorte que l'on pourra tracer sur la figure un système de pareilles lignes. Comme elles expriment une succession d'états pendant laquelle le corps n'est qu'un intermédiaire entre la chaleur et le travail, et conserve en quelque sorte la même puissance dynamique, je propose l'épithète d'isodynamique.

Rankine a appelé ces courbes isothermales, en partant de considérations théoriques relatives à la nature de la chaleur, qui sont étrangères au but que je me propose. La définition que j'ai adoptée me permet de donner plus de simplicité à mon exposition.

Courbes idiodynamiques. — Concevez un changement de volume et de pression, tel qu'il n'y ait ni chaleur perdue, ni chaleur gagnée par le corps, en même temps qu'il produit ou dépense du travail externe : la courbe qui représente cette succession d'états sera appelée *ligne idiodynamique*. Je propose cette épithète, parce que si l'on considère une pareille courbe AY, le corps, en passant de l'état A à l'état Y, cesse de pouvoir produire autant de travail par son action sur les corps extérieurs; on peut dire que sa puissance dynamique a diminué, et la courbe AY fait connaître les variations de la puissance dynamique proprement dite, sans intervention de la chaleur. La branche AY est au-dessous de AX, parce que tout gain de chaleur tend à augmenter la pression.

On pourra tracer sur la figure un système de pareilles lignes. Rankine les a appelées *curves of no transmission*, ce qui indique qu'il n'y a pas de chaleur transmise, soit du corps considéré aux corps extérieurs, soit de ceux-ci au premier.

V. — PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES COURBES ISODYNAMIQUES ET IDIODYNAMIQUES.

1° Lorsque le corps a perdu une certaine quantité de chaleur sans qu'il y ait eu ni travail produit ni travail dépensé, ou bien lorsqu'il a produit une quantité de travail équivalente à cette chaleur sans avoir perdu ni gagné de chaleur, son état final est représenté par deux points de la même courbe isodynamique. Il en est de même si le corps gagne de la chaleur, ou bien dépense une quantité équivalente de travail.

Soit A, l'état initial du corps (*fig.* 2) : s'il perd q calories, sans qu'il y ait ni travail produit ni travail dépensé, son volume reste constant, égal à l'abscisse oC, et sa succession d'états est figurée par la portion d'ordonnée AB. Je mène la ligne isodynamique BX, et la ligne idiodynamique AY; soit D le point d'intersection.

Si le corps partant de l'état A eût éprouvé la succession d'états figurée par AD, il eût produit le travail ADEC sans perdre ni gagner de la chaleur. Je dis que :

$$\text{E}\times q = \text{ADEC}.$$

En effet, imaginez que le corps passe par la suite d'états que représente la ligne fermée ADB, et appliquez le premier principe fondamental :

De A en D il y a production du travail ADEC;

De D en B { il y a dépense du travail DBCE, et perte de la chaleur q'.

De B en A, il y a gain de la chaleur q.

Il y a ainsi création du travail ADEC—DBCE=ADB, et disparition de la chaleur q-q', qui semble anéantie.

D'après le deuxième principe

$$\text{ADEC}-\text{DBCE}=\text{E}q-\text{E}q'.$$

Or, par définition, DBCE$=\text{E}q'$;

Donc, $\text{E}\times q=\text{ADEC}$. *c. q. f. d.*

Le même raisonnement s'applique, si l'on suppose que l'état du corps passe de B en A, avec un gain de q calories. Si l'on

mène la courbe idiodynamique BF et la courbe isodynamique AF, dont l'intersection est au point F, on a

$$\text{E}\times q = \text{BFGC}.$$

2° Si, entre deux courbes isodynamiques, on trace deux courbes idiodynamiques, les aires comprises entre les portions interceptées de ces dernières et leurs ordonnées extrêmes sont équivalentes.

Il suit de la proposition précédente que :

$$\text{ADEC} = \text{BFGC},$$

ce qui est une démonstration particulière au cas où les points A et B sont sur la même ordonnée ; il faut la généraliser.

Soient les portions FB, HI de deux lignes idiodynamiques interceptées par les lignes isodynamiques HF, BX, et les ordonnées extrêmes FG, BC d'une part : HL, IK de l'autre. Je dis que :

$$\text{FBCG} = \text{HLKI}.$$

En effet, concevez que la succession des états du corps soit représentée par la ligne fermée FHIB :

De F en H, il y a { gain de chaleur q. / production de travail FHLG.

De H en I, il y a production de travail HIKL.

De I en B, il y a { perte de chaleur q'. / dépense de travail IBCK.

De B en F, il y a dépense de travail BFGC.

Il y a ainsi création de travail FHLG+HIKL−IBCK −BFGC=FHIB, et disparition de chaleur q-q', qui semble anéantie.

D'après le deuxième principe :

$$\text{FHLG}+\text{HIKL}-\text{IBCK}-\text{BFGC}=\text{E}q-\text{E}q'.$$

Or, par définition, $\text{FHLG}=\text{E}q$.

$$\text{IBCK}=\text{E}q'.$$

Donc, HIKL=BFGC. *c. q. f. d.*

3° Entre deux points de deux courbes isodynamiques situés

sur la même ordonnée, les quantités de chaleur perdues ou gagnées sont constantes, quelle que soit l'ordonnée.

Il résulte des deux propositions précédentes que, de F en M et de H en N, les quantités de chaleur perdues sont égales, comme étant équivalentes aux aires égales FBCG et HIKL.

VI. — REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA CHALEUR PERDUE OU GAGNÉE PAR UN CORPS QUI ÉPROUVE UNE SUCCESSION DONNÉE DE CHANGEMENTS D'ÉTAT.

Rankine a donné la règle suivante : Par chacune des extrémités de la ligne qui représente la succession des états du corps, menez une ligne idiodynamique (curve of no transmission); l'équivalent mécanique de la chaleur perdue ou gagnée, pendant le changement de volume et de pression du corps, est représenté par l'aire comprise entre la ligne donnée et les deux lignes idiodynamiques indéfiniment prolongées dans le sens des abscisses positives.

Cet énoncé, qui a conduit l'auteur à un grand nombre de conséquences, lorsqu'il s'agissait de propositions à démontrer, n'est pas susceptible d'une application graphique, puisque l'aire dont il est question n'est pas limitée sur la figure. Il n'en est pas de même de la règle que je vais établir.

1er CAS. — *Gain de chaleur et dépense de travail.*

Soit AB, la courbe qui représente la succession d'états du corps (*fig.* 3) : par le point B qui désigne l'état final, je mène la courbe isodynamique XX', et par le point initial A je mène la courbe idiodynamique YY'. Soient E le point d'intersection; AD, BC, EF les trois ordonnées; et q la chaleur gagnée par le corps; je dis que :

$$\text{E}q = \text{AEFD} - \text{ABCD}.$$

En effet, concevez la succession d'états représentée par la ligne fermée ABE, et appliquez les deux principes fondamentaux :

De A en B, il y a { gain de chaleur q. / dépense de travail ABCD.

De B en E, il y a { perte de chaleur q'. / dépense de travail BEFC.

De E en A, il y a production de travail EADF.

Il y a ainsi une quantité de travail anéantie :

$$ABCD + BEFC - EADF = ABE;$$

et une quantité de chaleur créée $q'-q$.

On a : $ABCD + BEFC - EADF = E(q'-q)$

Or, par définition, $BEFC = Eq'$.

Donc, $EADF - ABCD = Eq$. *c. q. f. d.*

2e cas — *Gain de chaleur, production de travail.*

Soit AB_1 la succession d'états du corps :

Considérez la ligne fermée AB_1E, comme dans le cas précédent :

De A en B_1 il y a { gain de chaleur q. / production de travail AB_1C_1D.

De B_1 en E, il y a { perte de chaleur q'. / dépense de travail B_1EFC_1.

De E en A, il y a production de travail EADF.

On a, en raisonnant comme ci-dessus :

$$Eq = AEFD + AB_1C_1D.$$

3e cas. — *Perte de chaleur, production de travail.*

AB_2 représente un tel changement d'états. Soit E′, l'intersection de la ligne idiodynamique initiale, avec l'isodynamique finale.

Considérez la ligne fermée AB_2E', comme dans les cas précédents :

De A en B_2 il y a { perte de chaleur q. / production de travail AB_2C_2D.

De B_2 en E′, il y a { gain de chaleur q'. / production de travail $B_2E'F'C_2$.

De E′ en A, il y a dépense de travail E′ADF′.

On a semblablement :

$$Eq = E'ADF' - AB_2C_2D.$$

4e CAS. — *Perte de chaleur, dépense de travail.*

AB_3 représente un tel changement d'états. On considère la ligne fermée AB_3E' et l'on trouve, comme précédemment que :

De A en B_3, il y a $\begin{cases}\text{perte de chaleur } q.\\ \text{dépense de travail } AB_3C_3D.\end{cases}$

De B_3 en E', il y a $\begin{cases}\text{gain de chaleur } q'.\\ \text{production de travail } B_3E'F'C_3.\end{cases}$

De E' en A, il y a dépense de travail E'ADF'.

D'où : $$Eq = AE'F'D + AB_3C_3D.$$

On peut renfermer ces quatre cas dans un même énoncé, à l'aide des signes algébriques.

Règles des signes. — Je prends positivement la chaleur gagnée, négativement la chaleur perdue ; positivement le travail dépensé, négativement le travail produit.

On verra sur la figure de quel signe il faut affecter les nombres qui mesurent la chaleur et le travail, d'après la remarque suivante :

Si la ligne qui représente la succession des états du corps est au-dessus de la courbe idiodynamique du point initial, il y a chaleur gagnée; il faut affecter du signe + le nombre qui la mesure. Si cette ligne est au-dessous, il y a chaleur perdue, on prend le signe —.

Si la ligne dont on mesure l'aire est à droite de l'ordonnée du point initial, le nombre qui la représente doit être précédé du signe —.

Si la ligne est à gauche, il faut prendre le signe +.

Soit α le nombre qui mesure sur la figure 3 l'une ou l'autre des aires EADF, E'ADF', et soit β celui qui mesure l'une des aires ABCD, AB_1C_1D, AB_2C_2D, AB_3C_3D ; les quatre formules précédentes deviennent :

1° $Eq = \alpha - \beta$. chaleur gagnée.

2° $Eq = \alpha + \beta$. chaleur gagnée.

3° $Eq = \alpha - \beta$. chaleur perdue.

4° $Eq = \alpha + \beta$. chaleur perdue.

Et elles sont comprises dans la formule unique :

$$EQ = A - B.$$

En prenant $Q = \pm q$, $A = \pm \alpha$, $B = \pm \beta$, conformément à la règle des signes. De là la règle générale :

Par le point initial menez la ligne idiodynamique, et par le point final menez la ligne isodynamique; abaissez l'ordonnée du point d'intersection; calculez l'aire de la ligne idiodynamique comprise entre cette ordonnée et celle du point initial, et donnez au nombre de kilogrammètres obtenu le signe convenable; puis calculez l'aire de la ligne qui représente la succession des états du corps comprise entre les ordonnées du point initial et du point final, et donnez au résultat le signe convenable. Du premier nombre, retranchez algébriquement le second; le nombre ainsi calculé est l'équivalent mécanique de la chaleur mise en jeu. S'il est positif, il y a chaleur gagnée par le corps; s'il est négatif, il y a chaleur perdue.

Remarque. — Il suit de la 2e propriété démontrée au paragraphe V qu'on pourra calculer l'aire α en menant deux lignes isodynamiques, celles du point initial A et celle du point final B, puis une ligne idiodynamique quelconque entre les deux précédentes. L'aire de la partie interceptée a justement pour mesure le nombre α, dont on a besoin. Dans les calculs qui suivent, on a souvent fait usage de cette remarque.

VII. — APPLICATION DE LA MÉTHODE PRÉCÉDENTE AUX GAZ PERMANENTS.

Les deux espèces de courbes dont je viens d'indiquer les propriétés essentielles doivent être construites d'après les données de l'observation.

Il est possible de le faire, lorsque le corps est un gaz permanent; et par suite, la théorie des machines à air chaud peut être établie sur la règle précédente, comme je vais le montrer sur plusieurs exemples.

Les courbes isodynamiques des gaz permanents sont des hyperboles équilatères construites à l'aide d'une formule $xy = a$, où x et y désignent les coordonnées d'un point quelconque de la

courbe, et a une quantité constante pour la même courbe, et qui change avec la courbe. Le changement d'état du gaz est alors celui que représente la loi de Mariotte, c'est-à-dire une variation du volume inverse de celle de la pression avec une température constante, de laquelle dépend la valeur de la constante a. En effet, il résulte des expériences de M. Joule et de celles de M. Regnault que, si deux réservoirs d'égale capacité, dont l'un est vide et l'autre plein d'air, sont mis en communication, la pression devient $\frac{1}{2}$ et le volume 2; et de l'eau placée autour des réservoirs ne change pas de température. Or, une partie de l'air s'est détendue et sa température s'est abaissée; l'autre a été comprimée et sa température s'est élevée. Les particules gazeuses ont été agitées; mais il n'y a eu finalement aucun travail transmis au dehors; et la force vive, successivement acquise et perdue, n'a pas cessé d'être accompagnée d'une quantité de chaleur anéantie ou créée qui lui était proportionnelle.

Donc, quand le volume varie en raison inverse de la pression, sans changement final de température, il y a un échange de chaleur et de travail dans un rapport constant; et, par conséquent, l'état final du gaz est représenté par un point de la courbe isodynamique de l'état initial. Il est évident d'ailleurs que ces résultats sont approximatifs; mais ils sont d'une exactitude suffisante pour les calculs que j'en ai en vue.

Les courbes idiodynamiques peuvent être construites à l'aide d'une formule $yx^m = b$, m étant une constante qui ne dépend que de la nature du gaz, sa valeur pour l'air est 1,41 et b, étant une constante qui change avec la courbe, c'est-à-dire avec les circonstances initiales. Cette formule a été établie depuis longtemps par Laplace et par Poisson, pour représenter la loi de compression ou de détente rapide d'un gaz. Elle paraît exprimer les faits aussi bien dans la nouvelle théorie que dans l'ancienne, comme cela résulte d'une discussion approfondie que j'ai publiée dans les *Annales de physique et de chimie*, 1862. Dans le même travail, j'ai déterminé m directement, par expérience, sans avoir recours à la chaleur spécifique, avec laquelle cette quantité n'a que des rapports indirects. L'exactitude de cette formule n'est pas démontrée pour de très-fortes pressions et de très-hautes

températures ; mais en restant dans les limites ordinaires, on ne saurait commettre de grandes erreurs.

Les deux courbes fondamentales que je viens de définir se confondent, dans le cas des gaz, avec celles dont s'est servi M. Reech dans sa *Théorie générale des effets dynamiques de la chaleur* (*Journal de Liouville*, 1853). Mais elles sont définies à l'aide de la pression et du volume seulement, en partant du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail, sans qu'il soit question de température; ce qui est avantageux, à cause des difficultés que présente l'emploi de cette dernière variable.

Les calculs auxquels conduit l'emploi des courbes isodynamiques et idiodynamiques sont de la plus grande simplicité, et ne supposent connues ni la chaleur spécifique à volume constant, toujours hypothétique, ni la chaleur spécifique à pression constante; souvent ils sont indépendants de la valeur numérique de l'équivalent mécanique de la chaleur. Lorsqu'on connaîtra la forme de ces courbes ou de courbes analogues pour les solides et les liquides, le même genre de calcul pourra être appliqué à l'étude des effets de la chaleur dans ces sortes de corps.

VIII. — DÉFINITION DU COEFFICIENT ÉCONOMIQUE DES MACHINES A AIR CHAUD.

Il est impossible de disposer une machine à air qui puisse produire une quantité de travail moteur équivalente à la quantité de chaleur qu'elle prend dans un foyer. En effet, supposez que la succession d'états par lesquels cet air passe en produisant le travail moteur soit représentée par la ligne ABC (fig. 4); ce travail est mesuré par l'aire ABCEF, et en même temps le gaz prend au foyer q calories. Cet air produit le travail en pressant des pistons qui ont à surmonter la résistance des organes, celle des outils, et de plus la contre-pression de l'air nécessairement placé de l'autre côté des pistons. A cause de la périodicité que doit avoir le mouvement des organes, l'air, après avoir produit le travail moteur, exerce à son tour cette contre-pression avant de sortir de la machine, pendant le mouvement inverse des pistons, de sorte qu'il ne se trouve ramené à son état initial A qu'après avoir subi une suite de changement d'états durant la contre-pression, représentée par une certaine courbe CDA. Dans cette

opération, il dépense une partie du travail moteur mesurée par l'aire ECDAF, et il perd q' calories. L'aire ABCD mesure le travail disponible, et, d'après le principe fondamental, il y a une quantité de chaleur anéantie $q - q'$, équivalente à ce travail. Mais, en réalité, le gaz a consommé q calories ; et sur une calorie il n'en utilise que la fraction $\frac{q-q'}{q}$.

Quelles que soient les lois suivies par la pression et la contre-pression que supportent les pistons, on trouve toujours une représentation géométrique du travail disponible, identique à celle qui résulte de la considération d'une courbe fermée, dont les coordonnées mesurent le volume et la pression de l'air depuis son entrée dans la machine jusqu'à son retour à l'état initial. On trouve aussi toujours une certaine quantité de chaleur cédée par le gaz aux corps extérieurs, et dont on ne peut tirer parti pour le fonctionnement de la machine; elle est simplement transportée des parties chaudes aux parties froides.

On conçoit qu'on puisse chercher une forme du cycle ABC, telle que la fraction $\frac{q-q'}{q}$ soit maxima, et on a ainsi l'idée d'une limite de perfection qu'aucune machine à gaz ne pourra atteindre, mais dont on cherchera à s'approcher. Tel a été le but du mémoire de Rankine, cité plus haut. Il a donné à ce rapport le nom de *Efficiency of the thermo-dynamic engine*, et il en a calculé la valeur numérique maxima, soit pour une machine à air sans régénérateur, soit pour une machine avec régénérateur. Il est ainsi arrivé à ce résultat, qu'en déterminant convenablement le cycle des opérations subies par le gaz pendant une période, on obtient le même maximum théorique dans les deux cas.

Ce maximum, qu'on peut appeler *absolu*, ne dépend que des températures extrêmes T et t du gaz, et on démontre même qu'il s'applique non-seulement aux machines à air, mais encore à toutes celles dans lesquelles la chaleur est employée à produire du travail. La démonstration de ce principe m'écarterait du but particulier de cet exposé; mais il est bon de connaître la formule qui donne ce maximum absolu, afin de pouvoir, si l'on veut, la vérifier par la méthode graphique : cette vérification est une véritable démonstration *a posteriori*, dans le cas des machines à air chaud, et j'indiquerai sa place dans le paragraphe suivant. Voici

cette formule, dans laquelle K est le maximum absolu, T et t sont les températures extrêmes du gaz :

$$K = \frac{T - t}{272 + T}.$$

Le tableau suivant contient la valeur de K, lorsque $t = 0°$ et que T varie :

K	T	K	T
0,27	100	0,69	600
0,42	200	0,72	700
0,52	300	0,74	800
0,59	400	0,76	900
0,66	500	0,78	1000

Ainsi, la proportion de chaleur théoriquement utilisable pour le travail mécanique croît avec la température supérieure qu'atteint l'air de la machine. Mais, dans la pratique, on ne peut guère dépasser 300°, à cause des difficultés nombreuses que présente la conservation des organes; et alors le maximum absolu est environ 0,50. Ce qui veut dire que, sur 100 calories prises par l'air au foyer, 50 au plus peuvent être utilisées pour le travail utile et les résistances passives; le reste est simplement transporté du foyer dans les corps voisins, comme par un calorifère. Je ne parle pas de la chaleur réellement dégagée dans le foyer par le combustible, mais seulement de la portion de cette chaleur qui passe dans le gaz de la machine, et c'est à cette portion que je compare la chaleur convertie en travail et la chaleur simplement transportée.

Les machines réalisées ou projetées par un grand nombre d'inventeurs sont loin de présenter une telle perfection, et il est important de les classer, afin de les comparer et de fixer les améliorations dont elles sont susceptibles.

On peut définir chaque genre de machines à air par la forme générale du cycle qui leur convient. Il y a pour chaque genre un *maximum relatif* du rapport $\frac{q-q'}{q}$, plus ou moins différent du *maximum absolu*, entre les mêmes températures.

J'appellerai ce rapport, d'après M. Verdet, coefficient économique. Comme il est impossible d'atteindre, dans la pratique, le maximum générique, la valeur d'une machine à air quelconque s'appréciera à l'aide de trois données, conformément aux règles posées par M. Hirn :

1° Le coefficient économique théorique, qui fixe le maximum de chaleur utilisable par calorie prise au foyer, pour les machines du genre que l'on considère ;

2° Le coefficient économique réel, qui fixe la quantité de chaleur réellement utilisée par calorie prise au foyer ;

3° Le rendement pratique, rapport du travail utile mesurable au frein, au travail moteur qui équivaut à la chaleur réellement utilisée.

La détermination du premier rapport est purement théorique ; elle est le but des paragraphes suivants. Celle du second suppose des expérience calorimétriques délicates, et il est à désirer que les inventeurs reconnaissent leur importance. On trouvera dans le dernier paragraphe une règle qui peut suppléer à ces expériences. Celle du troisième ne peut être exacte qu'après la précédente : la valeur à laquelle on arrive en divisant le travail mesuré par le frein, par la valeur d'un diagramme tracé à l'aide d'un indicateur de pression, est néanmoins d'une approximation suffisante.

IX. — PREMIER GENRE.

Machine idéale, ayant le coefficient économique maximum. — Je supposerai dans tout ce qui suit que les températures extrêmes du gaz sont 0° et 272°. Les nombres que je donnerai sont donc relatifs à ces températures.

La première machine dont je vais m'occuper est idéale ; le cycle des opérations auxquelles l'air est soumis est formé par deux courbes idiodynamiques AB, CD et deux courbes isodynamique AD, BC (*fig.* 5). Le point D représente l'état d'un kilogramme d'air à 0° et sous la pression de 1 l'atmosphère (10333 kil. sur un mètre carré), et par conséquent l'abscisse *o*H représente le volume de cet air, $0^{m^3},7734$, tandis que l'ordonnée HD vaut 10333 kil. Une telle quantité d'air pénètre dans un premier cylindre appelé *alimentaire*, avec cette pression, et remplit le cylin-

dre à mesure que le piston s'avance, poussé par une tige que met en mouvement l'arbre moteur. Le travail positif[1] du piston pressé par cet air, s'obtient en multipliant sa pression par la surface et par la course du piston; ou ce qui donne le même résultat en multipliant le volume du cylindre par 10333. Comme on admet qu'il entre un kil. d'air à 0°, on aura $0^{m3},7734 \times 10333 =$ aire *o*H D *b*. De l'autre côté du piston, une quantité égale d'air est comprimée d'abord sans changement de température, jusqu'à ce que son volume soit *o*E et la pression EA; le travail négatif, correspondant à cette compression, est mesuré par l'aire hyperbolique HDAE. Le piston poursuivant brusquement sa course, l'air est comprimé sans perdre ni gagner aucune chaleur, sa température atteint 272°, le volume étant *o*F, la pression FB. Le travail négatif est mesuré par l'aire EABF, AB étant une courbe idiodynamique. Enfin cet air est refoulé dans un second cylindre appelé *moteur*, et le piston, achevant sa course, effectue le travail négatif *o*FB*c*. L'admission de cet air dans le cylindre moteur donne lieu à un travail positif égal au précédent; puis il y a détente sans que la température cesse d'être 272°, un foyer de chaleur se trouvant autour du cylindre, jusqu'à ce que son état soit représenté par le point C de la courbe idiodynamique du point D; il y a un travail positif du piston FBCG. Enfin le piston achève sa course, pendant que l'air se détend brusquement, sans émission ni absorption de chaleur, et revient à son état initial; il effectue le travail positif GCDH. De l'autre côté du piston moteur se trouve de l'air à la pression atmosphérique qui est expulsé au dehors, et il y a un travail négatif mesuré par l'aire *o*HD*b*. Cet air est supposé à zéro et, par conséquent, il peut être introduit dans le cylindre alimentaire pendant le retour du piston, et la machine fonctionne à double effet. Le dernier travail est égal au premier. La somme algébrique de tous les travaux effectués est l'aire ABCD prise positivement; elle mesure le travail moteur disponible. On voit que l'air, après avoir subi les modifications représentées par la ligne DAB, a dépensé une quantité de tra-

1. Le travail du piston est selon l'usage positif quand il se déplace dans le sens de la puissance; il ne faut pas confondre cet usage avec la règle des signes, posée au paragraphe VI, laquelle est arbitraire, et à pour base l'idée de la variation de la puissance dynamique du gaz, ou, comme on dit, de sa force vive moléculaire.

vail mesurée par l'aire HDABF, et qu'en achevant le cycle suivant BCD, il produit le travail FBCDH. La différence est ABCD; donc le travail moteur disponible est égal à l'excès du travail produit par le gaz sur le travail dépensé, le sens de ces mots ayant été défini au § III.

Voici maintenant quels échanges de chaleur ont lieu entre l'air et les corps extérieurs. Depuis l'état D jusqu'à l'état A, le gaz cède q calories à un réfrigérant disposé autour du cylindre alimentaire; et l'on a, d'après la définition des courbes isodynamiques, E étant l'équivalent mécanique de la chaleur;

$$\mathrm{E}q = \mathrm{HDAE}.$$

De A en B, il n'y a aucun échange de chaleur;

De B en C, le gaz prend au foyer q' calories, et l'on a

$$\mathrm{E}q' = \mathrm{BCGF}.$$

Enfin de C en D, il n'y a aucun échange de chaleur.

Il y a une quantité de chaleur anéantie $q' - q$ équivalente, d'après le principe fondamental, au travail produit ABCD; et le coefficient économique a pour expression géométrique

$$\mathrm{K} = \frac{q' - q}{q'} = \frac{\mathrm{BCGF} - \mathrm{HDAE}}{\mathrm{BCGF}}.$$

L'égalité des aires ABCD et BCGF — HDAE entraîne celle des aires BAEF et CDHG; ce qui est conforme à la deuxième proposition du § V.

Il est évident que les opérations supposées sont irréalisables; mais cette machine idéale offre un exemple du meilleur emploi théoriquement possible de la chaleur: parce que la chaleur q, transportée du foyer au réfrigérant, ne peut être utilisée dans la machine, et qu'il n'y a nulle part de chaleur inutilement cédée aux corps extérieurs; et l'on reconnaît par là l'impossibilité d'avoir une transformation complète de la chaleur prise au foyer en travail disponible.

Calcul numérique. — Sur la figure 5 l'abscisse $o\mathrm{H} = 154{,}68$ divisions, et l'ordonnée $\mathrm{HD} = 5$ divisions. D'où il suit que $154^{\mathrm{d}}{,}68$ valent $0^{\mathrm{mc}}{,}7734$ et 5^{d} valent 10333^{k} sur un mètre carré. On pourra

donc évaluer la pression p et le volume v de l'air à l'aide de l'ordonnée $y^{\text{div.}}$ et de l'abscisse $x^{\text{div.}}$ par les formules

$$p = 2y \times 1033,3 \text{ et } v = \frac{x}{200}.$$

Les aires mesurées sur la figure à l'aide de y et x devront donc être multipliées par 10,333 pour exprimer les travaux en kilogrammètres. Mais pour le calcul du coefficient économique, il suffit d'avoir les rapports de ces aires ; par suite, on n'a besoin que des valeurs relatives de x et y.

Calcul de l'aire BCGF. L'arc BC appartient à la ligne isodynamique de 272°. Or, si l'on prolonge cet arc jusqu'à l'ordonnée du point H, cette ordonnée mesure la pression de 1 kil. d'air occupant le volume $0^{m^3},7734$ à 272° ; et d'après la loi de Gay-Lussac, cette pression est DH $(1 + \alpha T)$. Les ordonnées peuvent se calculer pour des abscisses choisies arbitralement par la formule $xy = o\text{H} \times \text{DH} \times (1 + \alpha T)$ où $T = 272°$, α coefficient de dilatation de l'air $= \frac{1}{272}$

d'où $$y = \frac{1546,8}{x}.$$

En prenant deux trapèzes pour l'aire cherchée, on a

$$\text{BCGF} = 1093,796.$$

Calcul de l'aire ADHE. Les ordonnées peuvent être calculées par la formule

$$xy = o\text{H} \times \text{DH}.$$

d'où $$y = \frac{773,4}{x},$$

pour les abscisses 77,34, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 154,68 ; et l'on a sept trapèzes dont la somme donne

$$\text{ADHE} = 546,886.$$

De là $$K = \frac{546,910}{1093,796} = 0,50.$$

On peut comparer ce résultat à celui que donnent les formules algébriques.

Je pose

$$V = oF,\ V' = oG,\ V'' = oE,\ V''' = oH.$$

$$K = \frac{2\,(\log.\,V' - \log.\,V) - \log.\,V''' + \log.\,V''}{2\,(\log V' - \log V)} = 0{,}50 \text{ exactement.}$$

On obtient le même résultat en mettant $t = o$ et $T = 272$ dans la formule du § VIII.

$$K = \frac{T - t}{272 + T}.$$

Par là, l'exactitude de cette dernière formule est vérifiée; mais on peut compléter cette vérification en discutant la figure 5 et en la construisant pour d'autres températures.

Supposons que l'arc idiodynamique AB soit tracé où l'on voudra entre les courbes isodynamiques à 0° et à 272°; on reconnaîtra aisément que l'aire HDAE est toujours la moitié de l'aire BCGF. En d'autres termes, le coefficient économique est indépendant de la pression à laquelle est porté l'air de la machine. Avec les données du calcul précédent, on reconnait que BF représente 21 atmosphères.

Si l'on remplace l'air par un gaz quelconque, les courbes idiodynamiques changent; mais le coefficient économique n'en dépend pas, puisque les aires de ces courbes n'entrent pas dans le calcul.

Ainsi, sans recourir aux formules générales de la théorie mécanique de la chaleur, on peut se convaincre de l'existence d'un maximum absolu pour le coefficient économique, qui ne dépend que des températures extrêmes du gaz.

La machine idéale étudiée dans ce paragraphe présente le meilleur emploi possible de la chaleur, et par conséquent le coefficient économique d'une machine à air quelconque ne peut dépasser la valeur que donne la dernière formule.

J'ai donné les détails du calcul, afin que l'exactitude de la méthode graphique soit bien démontrée. J'abrégerai dans ce qui suit les raisonnements.

Remarquez qu'on aurait une approximation suffisante dans bien des cas, en se contentant de faire un tracé exact, de découper les aires à mesurer et de les peser. Il est impossible de rendre plus palpables les résultats auxquels conduit la théorie mécanique de la chaleur.

X. — DEUXIÈME GENRE.

Machines dans lesquelles l'air est échauffé et refroidi à pression constante. — 1° Le cycle des états successifs de l'air est formé par deux courbes idiodynamiques AI, JK et par deux droites IJ, KA parallèles à ox. A ce genre de machine, appartient le système d'Éricсson (fig. 6).

Le point A représente l'état initial de l'air à 0° et sous la pression d'une atmosphère. Le piston du cylindre alimentaire comprime cet air rapidement, de sorte qu'il n'y ait pas d'échange de chaleur avec les corps voisins; le travail négatif effectué a pour mesure l'aire AINE. Puis, l'air comprimé est refoulé dans le cylindre moteur, et le travail négatif du piston alimentaire est égal au travail positif du piston moteur pendant ce refoulement; on peut ne pas les considérer. Pendant la course du piston alimentaire, il y a aussi un travail positif dû à de l'air qui entre dans le cylindre à la pression atmosphérique, et ce travail a pour mesure oEAd.

L'air comprimé pousse le piston moteur en prenant q calories au foyer; il augmente son volume sans changer de pression, en produisant le travail positif IJMN et atteint 272°. Puis, il cesse de recevoir de la chaleur, et se détend brusquement, jusqu'à ce qu'il soit ramené à la pression atmosphérique, en produisant le travail positif JKLM.

Le piston moteur est à la fin de sa course, et une quantité d'air égale à la précédente et soumise à la pression ordinaire a été expulsée, ce qui a donné lieu à un travail négatif oLKd. On peut concevoir une machine à double effet, de sorte que l'air expulsé du cylindre moteur passe dans le cylindre alimentaire; et comme cet air provient d'une opération semblable à celle qui vient d'être décrite, il éprouve pendant ce passage la succession d'états représentée par la droite KA, et restitue aux corps extérieurs q' calories.

Finalement, il y a production du travail disponible,

$$o\mathrm{EA}d - \mathrm{AINE} + \mathrm{IJMN} + \mathrm{JKLM} - o\mathrm{LK}d = \mathrm{AIJK},$$

et disparition d'une quantité équivalente de chaleur $q - q'$.

Il faut déterminer le point I, de telle sorte que $\frac{q-q'}{q}$ soit maxi-

mum; dès que la position de ce point sera connue, les points J et K seront déterminés par la définition même du cycle. Le maximum aura lieu, si la quantité de chaleur q' ne peut être utilisée pour échauffer l'air dans la machine.

Or, l'air commence à être réchauffé par le foyer à partir de l'état I; il faut donc que la température au point K soit égale à celle du point I. Car il sera impossible de faire servir l'air qui sort à cette température, à élever celle de l'air qui a été comprimé et refoulé dans le cylindre moteur. Si, au contraire, la température à l'état K est supérieure à celle du point I, une partie de la chaleur q' peut être employée à un tel usage, à l'aide de toiles métalliques que l'air traverse alternativement à sa sortie et à son entrée, et l'on peut ainsi diminuer la quantité de chaleur que doit fournir le foyer. Ces toiles sont inutiles et le maximum du coefficient économique est atteint, lorsque la température, après la détente, est la même qu'après la compression. Ce point a été discuté avec soin par M. Hirn dans son *Exposition de la théorie mécanique de la chaleur*, à l'aide des formules générales.

Je vais donc calculer la position du point I, d'après la condition que les points I et K se trouvent sur la même courbe isodynamique.

Je pose $x = oN,\ y = IN,\ z = oL,\ u = oM,$

$$\alpha = oE,\ \beta = AE,\ \gamma = BF,\ \delta = oF.$$

D'après la forme des courbes idiodynamiques AB, JK, on a

$$yx^m = \beta\alpha^m,\ yu^m = \beta z^m,$$

et d'après celle des courbes isodynamiques IK, BJ, on a

$$xy = \beta z. \qquad yu = \gamma\delta.$$

Ces quatre équations déterminent les quatre inconnues x, y, z, u, et l'on trouve par exemple :

$$z = \sqrt{\frac{\alpha\gamma\delta}{\beta}}.$$

Pour avoir l'expression géométrique de la chaleur q, prise au foyer, j'applique la règle générale du § VI, en prolongeant la courbe idiodynamique AI jusqu'à la rencontre B de la courbe isodynamique du point J; et j'ai

$$Eq = IBFN + IJMN.$$

Donc $$K = \frac{q-q'}{q} = \frac{AIJK}{IBFN + IJMN}.$$

D'après la deuxième propriété des courbes isodynamiques démontrée au paragraphe V, on a, puisque I et K sont sur la même ligne isodynamique

$$IBFN = JKLM$$

Donc $$K = \frac{IJMN + JKLM - IAEN - AKLE}{IJMN + JKLM}.$$

Calcul numérique. — Sur la figure 6, l'abscisse $oE = 77,34$ divisions, et l'ordonnée $AE = 10$ divisions; d'où il suit que

$$p = y \times 1033,3, \quad v = \frac{x}{100}.$$

Les aires calculées doivent, comme précédemment, être multipliées par 10,333 pour exprimer les travaux en kilogrammètres.

La valeur de $z = oL = 109,375$. Celle de KL est $AE = 10$. On trace la courbe idiodynamique KJ à l'aide de la formule

$$y\,x^{1,41} = KL \times oL^{1,41}$$

ou bien, $\quad \text{Log. } y = 3,8748735 - 1,41 \text{ Log. } x;$

et la courbe AI à l'aide de

$$y\,x^{1,41} = AE \times oE^{1,41},$$

ou $\quad \text{Log. } y = 3,6626499 - 1,41 \text{ Log. } x.$

En suivant la marche indiquée dans le paragraphe précédent, j'ai trouvé :

$$IJMN = 445,73.$$
$$JKLM = 1096,21.$$
$$AKLE = 316,33.$$
$$IAEN = 815,57.$$
$$K = \frac{410,04}{1541,94} = 0,26.$$

M. Hirn, par les formules algébriques, a trouvé pour le même cas, 0,259 (page 442 de son *Exposition*). L'accord est très-satisfaisant.

La température de la courbe isodynamique IK est 111°6.

Ainsi la théorie indique que, dans ce système, les 0,74 de la

chaleur prise au foyer sont simplement transportés dans les corps extérieurs, sans pouvoir être utilisés en travail mécanique; et que si la détente est bien réglée, les toiles métalliques n'ont aucun effet.

2° Dans la pratique, la compression et la détente ne peuvent être exactement représentées par des courbes idiodynamiques : si le jeu de la machine est assez lent, la détente et la compression peuvent se rapprocher de la loi de Mariotte; et il est intéressant de calculer le coefficient économique, en supposant les courbes AI, JK du cycle précédent remplacées par les courbes isodynamiques AO, JP, avec les mêmes limites de pression.

En passant de l'état A à l'état O, l'air conserve la température 0°, en cédant aux corps extérieurs q calories; et l'on a, d'après la définition des courbes isodynamiques,

$$\mathrm{E}q = \mathrm{AOQE}.$$

De O en J, pendant le travail à pression constante, l'air acquiert q' calories et atteint la température de 272°. En appliquant la règle générale, et la remarque du § VI, j'ai

$$\mathrm{E}q' = \mathrm{ABFE} + \mathrm{OJMQ}.$$

De J en P, pendant la détente à 272°, l'air doit encore prendre aux corps extérieurs q'' calories, et l'on a pour définition

$$\mathrm{E}q'' = \mathrm{JPHM}.$$

Enfin, l'air sort du cylindre moteur à 272° et passe par la suite d'états représentée par la droite PA, en restituant aux corps extérieurs q''' calories, de sorte que

$$\mathrm{E}q''' = \mathrm{ABFE} + \mathrm{APHE}.$$

Dans cette suite de transformation, il y a donc une quantité de chaleur disparue $q' + q'' - q''' - q$, qui équivaut au travail produit AOJP.

Quelle est la quantité de chaleur minima que doit fournir le foyer? Le gaz doit prendre aux corps extérieurs $q' + q''$ calories; mais il doit leur restituer $q''' + q$. Or, si la quantité q ne peut servir à échauffer l'air contenu dans la machine, puisqu'elle est abandonnée à la température de zéro, il n'en est pas de même de la quantité q'''. En effet, concevez que l'air à l'état P sorte du cylindre moteur en passant sur des corps conducteurs, tels que

des toiles métalliques : leurs couches successives présenteront toutes les températures comprises entre 272° et 0°. Or, l'air comprimé, qui est refoulé dans le cylindre moteur, est à l'état O avec la température zéro par hypothèse; et en parcourant les toiles métalliques en sens inverses, il pourra acquérir la température 272°, de sorte que le foyer n'aura plus besoin d'agir que de J en P. Et, en effet, il résulte des propriétés des courbes de la figure, que $q' = q'''$. Car on a, à cause de la forme hyperbolique des courbes isodynamiques,

$$o\text{MJ}e = o\text{HP}d.$$

$$o\text{QO}e = o\text{EA}d.$$

Donc, en retranchant membre à membre, on a :

$$\text{OJMQ} = \text{APHE}.$$

D'où l'on conclut, en se reportant aux expressions géométriques de q', q''', l'égalité de ces quantités :

Ainsi, dans ce système, les toiles métalliques ont théoriquement une très-grande efficacité, ce qui n'avait pas lieu dans le système précédent; et le foyer n'a plus qu'à fournir la chaleur q'' pendant la détente à 272°.

La valeur du coefficient économique maximum est donc

$$K = \frac{q' + q'' - q''' - q}{q''} = \frac{q'' - q}{q''} = \frac{\text{JPHM} - \text{AOQE}}{\text{JPHM}}.$$

Et l'on peut remarquer que JPHM — AOQE = AOJP; mais les aires que je viens d'introduire au numérateur sont disposées pour le calcul numérique.

Il y a une infinité de manières de porter le gaz à 272°, en variant la pression OQ, à laquelle l'air est porté; or, le coefficient économique a toujours la même valeur 1/2, quelle que soit la pression, parce que les aires JPHM, AOQE, desquelles il dépend, conservent le même rapport, quand la pression change.

Pour le prouver, je remarque que, à cause de la forme hyperbolique des courbes, AO, JP

$$\text{JPHM} = e\text{JP}d, \text{ et } \text{AOQE} = e\text{OA}d;$$

or

$$\frac{e\text{JP}d}{e\text{OA}d} = \frac{e\text{J}}{e\text{O}},$$

donc
$$K = \frac{eJ - eO}{eJ} = \frac{1}{2},$$

puisque les limites de température sont 0° et 272°.

On peut aisément donner la valeur de K en fonction de la température, à l'aide de la loi de Gay-Lussac. Soit V le volume oE; le volume à T° est $oH = V(1 + \alpha T)$.

$$K = \frac{oH - oE}{oH} = \frac{\alpha T}{1 + \alpha T}.$$

Comme pour la machine idéale que j'ai considérée en premier lieu.

Pour $\alpha = \frac{1}{272}$ et $T = 272°$, ce rapport est $\frac{1}{2}$.

Dans la pratique, l'air ne peut pas sortir des toiles métalliques avec sa température initiale, et par conséquent les toiles ne peuvent rigoureusement élever le coefficient jusqu'à son maximum; mais leur utilité est incontestable.

Si on n'emploie pas de toiles métalliques, le foyer doit fournir $q' + q''$ calories, et l'on a

$$K = \frac{q''-q}{q''+q'} = \frac{JPHM - AOQE}{JPHM + ABFE + APHE} = \frac{\frac{1}{2} JPHM}{JPHM + ABFE + APHE}.$$

En suivant la méthode graphique, j'ai trouvé

$$K = 0,22,$$

valeur peu différente de celle du système précédent. J'ai ainsi deux limites entre lesquelles le coefficient économique des machines construites par M. Ericcson doit venir se placer, lorsqu'elles ne sont pas munies de toiles métalliques. La machine qui a été étudiée au Conservatoire des Arts et Métiers ayant cette disposition, ne peut avoir un coefficient supérieur à 0,26. Je me borne ici à ces appréciations purement théoriques.

XI. — TROISIÈME GENRE.

Machines dans lesquelles l'air est échauffé et refroidi à volume constant.—Il y a toujours un cylindre alimentaire qui comprime l'air; il le refoule ensuite dans un réchauffeur, où il prend la température 272° sans changer de volume; l'air échauffé agit

alors sur le piston moteur en se détendant, puis il passe dans un rafraîchissoir, où il revient à son état initial sans changer de volume. On a ainsi l'avantage de ne pas échauffer directement les parois du cylindre moteur. Ici, comme dans le genre précédent, on peut faire le calcul du coefficient économique, en supposant que les courbes de compression et de détente sont isodynamiques ou bien idiodynamiques. Ce genre comprend le système Stirling.

1° Le cycle des opérations est représenté sur la fig. 7 par deux courbes idiodynamiques AR, ST, et par les droites RS, TA, parallèles à *oy*. On démontrerait, comme précédemment, que le travail moteur est mesuré par l'aire ARST. Il faut évaluer la chaleur prise au foyer.

Les états successifs de l'air sont représentés par les quatre côtés du quadrilatère curviligne, qui correspondent aux quatre périodes.

Depuis l'état A jusqu'à l'état R, pendant la compression dans le cylindre alimentaire, il n'y a ni perte, ni gain de chaleur.

De R en S, dans le réchauffeur, l'air prend aux corps extérieurs q calories. En menant la courbe isodynamique du point S jusqu'à son intersection B, avec la courbe idiodynamique du point R, on a, d'après la règle,

$$\text{E}q = \text{RBFU}.$$

De S en T, pendant la détente, il n'y a ni perte ni gain de chaleur.

Enfin, de l'état T à l'état initial A, dans le rafraîchissoir, il y a q' calories cédées aux corps extérieurs, et on a sa mesure, d'après la règle, en prolongeant l'idiodynamique ST jusqu'à la rencontre de l'isodynamique AD. On a d'ailleurs $\text{E}(q - q') = \text{ARST}$.

Pour que le coefficient économique soit maximum, il faut que la chaleur q' ne puisse servir à échauffer l'air dans la machine, et pour cela la température à l'état T doit être la même qu'à l'état R; car de T en A les températures seront inférieures à celles qui doivent régner de R en S. Les points R et T doivent donc se trouver sur la même courbe isodynamique.

Pour les déterminer, je pose :

$$x = o\text{U}, \quad y = \text{RU}, \quad z = \text{SU}, \quad u = \text{TE},$$
$$\alpha = o\text{E}, \beta = \text{AE}, \gamma = \text{WE}.$$

On a, d'après les équations des courbes de la figure,

$$xy = u\alpha$$

$$yx^{m} = \beta\alpha^{m}$$

$$xz = \alpha\gamma$$

$$zx^{m} = u\alpha^{m}$$

d'où l'on tire $$u = \sqrt{\beta\gamma}.$$

Le point T étant connu, on construit l'isodynamique TR, et le reste du quadrilatère s'achève aisément.

L'expression du coefficient économique est :

$$K = \frac{q - q'}{q} = \frac{\text{ARST}}{\text{RBFU}}.$$

Comme R et T sont sur une même courbe isodynamique, on a, d'après une propriété connue,

$$\text{RBFU} = \text{TSUE}$$

et $$K = \frac{\text{TSUE} - \text{ARUE}}{\text{TSUE}}.$$

Je trouve par la méthode graphique $K = 0{,}30$.

M. Hirn a obtenu 0,29 par les formules algébriques (page 438 de son *Traité*).

La température qui correspond aux états R et T est 114°,24.

Si l'air, après sa détente, a une température supérieure à 114°, on pourra avec des toiles métalliques s'approcher du maximum; mais il est préférable de régler la détente convenablement.

2° Le cycle est formé par deux courbes isodynamiques AV, WS et par les deux droites VS, WA parallèles à oy.

Le travail moteur, équivalent à la chaleur disparue, est mesuré par l'aire AVSW.

Depuis l'état A jusqu'à l'état V, pendant la compression dans le cylindre alimentaire, l'air cède aux corps extérieurs q calories, et l'on a, d'après la définition,

$$Eq = \text{AVUE}.$$

De V en S, dans le réchauffeur, il prend aux corps extérieurs q' calories, et d'après les propriétés des courbes isodynamiques et idiodynamiques,

$$Eq' = \text{ABFE}.$$

De S en W, pendant la détente dans le cylindre moteur, l'air prend aux corps extérieurs q'' calories, et l'on a par définition

$$Eq'' = \text{SWEU}.$$

Enfin, de W en A, dans le rafraîchissoir, cet air repasse de 272° à 0°, en restituant q' calories, d'après la troisième propriété démontrée au § V.

Cette chaleur peut être utilisée à l'aide de toiles métalliques, et par suite le foyer n'a plus à fournir au gaz que q'' calories.

Le coefficient économique est ainsi :

$$K = \frac{q'' - q}{q''} = \frac{\text{AVSW}}{\text{SWEU}} = \frac{1}{2}.$$

quelle que soit la pression ; car les ordonnées de l'hyperbole SW sont doubles de celles de l'hyperbole VA, pour les mêmes abscisses.

Si l'on supprime les toiles métalliques, le coefficient devient

$$K = \frac{q'' - q}{q'' + q'} = \frac{\text{AVSW}}{\text{SWEU} + \text{ABFE}}.$$

En calculant ces aires par la méthode des trapèzes, je trouve

$$K = 0{,}20.$$

XII. — QUATRIÈME GENRE.

Machines dans lesquelles l'air est échauffé à volume constant et refroidi à pression constante, comprenant le système proposé par M. Girard. — Le gaz est comprimé dans le cylindre alimentaire, puis introduit à l'aide d'un piston déplaceur dans un espace où il prend la température de 272°, après avoir traversé un régénérateur rempli de lames métalliques, échauffées par le gaz qui sort; l'échauffement a lieu à volume constant. L'air ayant ainsi acquis une pression double de celle qu'il avait en sortant du cylindre alimentaire agit sur le piston moteur, se détend jusqu'à la pression atmosphérique, et sort de la machine en passant sur les lames métalliques du régénérateur.

Le cycle des opérations est représenté par les deux courbes isodynamiques AX, YP, la droite XY parallèle à oy, et la droite AP parallèle à ox (fig. 8).

Le travail moteur est mesuré par l'aire AXYP, équivalente à la chaleur disparue.

Depuis l'état initial A jusqu'à l'état X, pendant la compression dans le cylindre alimentaire, l'air cède aux corps extérieurs q calories, et l'on a par définition

$$Eq = AXZE.$$

De X en Y, l'air prend aux corps extérieurs dans le régénérateur et dans le réchauffeur q' calories, et l'on a, d'après la règle et la remarque du § VI, en menant la ligne idiodynamique AB,

$$Eq' = ABFE.$$

De Y en P, pendant la détente dans le cylindre moteur, l'air prend aux corps extérieurs q'' calories, et l'on a, par définition,

$$Eq'' = YPHZ.$$

Enfin de P, jusqu'à l'état initial A, l'air à 272° traverse le régénérateur, et cède aux corps extérieurs q''' calories; d'après la règle :

$$Eq''' = ABFE + PAEH.$$

Cette quantité de chaleur doit servir à échauffer l'air qui traverse les lames métalliques en sens inverse, pour produire le coup de piston suivant. Mais toute cette chaleur ne peut servir dans la machine; en effet, elle sera employée à porter les feuilles métalliques à toutes les températures comprises entre 0° et 272°, et par suite, l'air froid, en passant sur ces feuilles, ne pourra que prendre la température 272°, c'est-à-dire gagner de X en Y la quantité de chaleur désignée par q', sans la prendre au foyer. Celui-ci n'aura donc qu'à fournir q'' calories, et la quantité $q''' - q'$ sera perdue pour la machine. Quant à la chaleur disparue, elle a pour valeur $q' + q'' - q''' - q$, et

$$K = \frac{q' + q'' - q''' - q}{q''} = \frac{AXYP}{YPHZ} = \frac{YPHZ - AXZE - PAEH}{YPHZ}$$

J'ai calculé ce rapport en prenant, comme l'a fait l'auteur du projet, $oZ = \frac{1}{8}\, oE$, et j'ai trouvé 0,41.

Sans le régénérateur à lames métalliques, le foyer devrait fournir $q' + q''$ calories, et l'on aurait

$$K = \frac{q' + q'' - q''' - q}{q' + q''} = \frac{AXYP}{ABFE + YPHZ} = 0,24.$$

Je ne crois pas que dans la machine projetée, la détente s'effectue sans abaissement de température, parce que le foyer n'agit pas sur les parois du cylindre moteur; mais la théorie précédente permet d'espérer un bon emploi de la chaleur, avec la forme du cycle que je viens de discuter, si les organes sont convenablement disposés, ce qui est dans les machines à air la principale difficulté.

XIII. — CINQUIÈME GENRE.

Machines à déplacement d'air, comprenant le système Laubereau.— La même quantité d'air éprouve les variations de pression nécessaires pour le jeu du piston moteur, par un échauffement et un refroidissement alternatifs. Pour cela, dans un cylindre appelé distributeur se meut une masse de matière peu conductrice de la chaleur qui déplace l'air, et l'amène tantôt au contact d'une paroi échauffé par le foyer, tantôt au contact d'une paroi entretenue froide par un courant d'eau. Dans la première situation, cet air acquiert une pression élevée, et pousse le piston moteur placé dans un second cylindre qui communique avec le premier. Dans la deuxième situation, l'air acquiert une basse pression, qui peut être inférieure à celle de l'atmosphère, et le piston moteur revient à sa position initiale.

La succession des états de l'air dépend essentiellement de la disposition des organes, et le coefficient économique peut varier beaucoup dans le même genre, suivant cette disposition. On le reconnaît à la diversité des diagrammes donnés par l'indicateur de pression; aussi les machines du système Laubereau expérimentée à Berlin ont des diagrammes très-différents de ceux qui ont été obtenus avec la machine du même système qui a fonctionné au Conservatoire des Arts et métiers, et dont M. Tresca a fait une description dans le treizième numéro des *Annales du Conservatoire*. On ne peut donc calculer un coefficient économique théorique.

Je pense que la règle que j'ai indiquée peut faire connaître le coefficient économique réel d'une machine donnée, à l'aide d'un diagramme tracé par l'indicateur.

En effet, ce diagramme permet de calculer la pression et le volume de l'air à chaque instant, et d'effectuer un tracé analogue

à ceux dont je me suis servi précédemment. Soit (fig. 4) ABCD le diagramme dont l'aire mesure le travail disponible, et qui équivaut à la chaleur disparue.

Il suffit de connaître l'ordonnée et l'abscisse d'un point quelconque de cette ligne pour qu'on puisse tracer la courbe isodynamique de ce point, et répéter la même construction par tous les points du diagramme. On obtiendra ainsi graphiquement les deux courbes isodynamiques XX', YY' entre lesquelles est compris le diagramme, et qui correspondent aux températures maxima et minima.

Pendant la période ABC, l'air prend aux corps extérieurs q calories, et l'on a, d'après la règle générale,

$$Eq = AGHF + ABCEF,$$

AG étant la courbe idiodynamique du point A, que l'on peut tracer à l'aide de la formule

$$yx^{1,41} = AF \times OF^{1,41}.$$

Pendant la période CDA, l'air est refroidi et cède aux corps extérieurs q' calories, et l'on a, d'après la règle, en concevant par le point C la ligne idiodynamique CI :

$$Eq' = CIKE + CDAFE = AGHF + CDAFE.$$

Dans ce système de machines, la quantité q' est entièrement perdue pour le gaz, elle passe dans l'eau du refrigérant; le foyer doit donc fournir la quantité q de chaleur, et le coefficient économique est

$$K = \frac{q - q'}{q} = \frac{ABCD}{AGHF + ABCEF}.$$

Le calcul de ce rapport se fera très-simplement par la méthode des trapèzes, et l'approximation dépendra de l'exactitude du diagramme fourni par l'indicateur.

Il est évident que cette méthode peut s'appliquer à une machine à air quelconque; à l'aide d'un diagramme obtenu avec l'indicateur de pression et de quelques mesures qui fixent l'origine des coordonnées, on déterminera ainsi le coefficient économique réel, sans avoir besoin de mesures calorimétriques. Néanmoins, on ne saurait trop recommander ces dernières, comme pouvant fournir des résultats plus exacts.

Guidé par ces considérations, le constructeur doit modifier la disposition des organes, de manière à rendre le coefficient économique le plus grand possible. Puissent ces indications être utiles à quelques-unes des personnes qui, animées par un esprit inventif, consacrent une partie de leur temps et de leur fortune à la construction de nouveaux moteurs.

LA PHOTOGRAPHIE EN 1865.

PAR M. SAINT-EDME.

I. La photographie sur collodion sec. Procédé de M. le major Russel.

L'Exposition de cette année prouve que la photographie artistique ne laisse rien à désirer : le *portrait* et la *reproduction de tableau* sont on ne peut plus satisfaisants ; nous ne parlons, bien entendu, que des épreuves dues aux opérateurs qui ont mérité le titre d'artiste. L'année dernière, nous critiquions les *paysagistes ;* grâce aux progrès réalisés par les chercheurs de procédés au *collodion sec*, ils ont été mis à même d'exposer des épreuves dignes d'intérêt.

Il faut bien distinguer le talent du paysagiste de celui du reproducteur de tableau : le premier se met en campagne, en chasse de la nature animée ; le second est fort à l'aise, dans son atelier, pour choisir le jour favorable au tirage du tableau qui lui est confié. Occupons-nous donc du paysagiste, puisque de son côté sont les difficultés à vaincre. Une fois le négatif obtenu, le tirage du positif est une simple question, aisée à résoudre dans le laboratoire : mais le produit du voyage est le négatif ; la préparation de la glace collodionnée est donc la partie ardue de la question. Doit-on collodionner en campagne, ou avant le départ ? Deux théories en regard. — Deux genres de procédés : — « le collodion humide et le collodion sec. »

Le collodion, tel qu'on l'emploie dans les ateliers, reste actif, tant qu'il est hydraté ; une fois séché sur le verre, sa sensibilité est perdue : des glaces ainsi préparées ne sont donc nullement propres à la photographie en campagne. Dès lors, l'exécution de ce genre d'épreuves nécessite un matériel considérable : laboratoire, tente, boîte à produits... souvent, ces difficultés matérielles sont insurmontables. Il fallait trouver un procédé, en

vertu duquel le collodion déversé sur la glace conservât son activité pendant une journée au moins ; à cette condition, le photographe explorateur peut préparer le matin un assez grand nombre de glaces pour satisfaire aux essais de la journée. La question a été résolue plus amplement, car les procédés proposés conservent la sensibilité aux glaces pendant plusieurs jours.

S'il est constaté qu'il faut s'opposer à la dessiccation du bain sensibilisateur à la surface du collodion, les théoriciens ne sont pas d'accord sur l'explication du fait. Certains disent qu'il est essentiel que l'iodure d'argent, qui se forme dans le bain sensibilisateur, soit mélangé à une certaine quantité de nitrate d'argent ; or, si la glace, au sortir du bain, reste trop longtemps avant d'être impressionnée et développée, l'eau qui tenait le nitrate en dissolution s'écoule, et il se forme, à la surface de la couche, des cristaux de nitrate d'argent qui s'opposent à l'action de la lumière. Cette opinion est très-plausible, d'autant plus que tous les praticiens s'accordent, dans leurs méthodes multiples, sur ce point fondamental, qu'il est de toute urgence d'enduire le collodion sensibilisé à conserver d'un voile, très-mince en épaisseur, mais imperméable à l'air : l'action de la lumière est retardée ; mais qu'importe, lorsqu'il s'agit de reproduire un paysage inanimé ?

On était donc amené à recouvrir la surface collodionnée, sortant du bain d'argent, d'une couche, inerte au point de vue chimique, mais susceptible de neutraliser l'évaporation, du moins pendant un laps de temps suffisamment long. Les substances gommeuses, sirupeuses, gélatineuses... devaient nécessairement solliciter les investigateurs, puisqu'elles ne peuvent que maintenir la couche d'iodure d'argent dans l'état d'humidité favorable à l'action de la lumière. De là, ces procédés qui ne tirent leurs dénominations que de la matière qu'ils emploient : procédé au *miel*, à l'*oxymel*, au *lait solidifié*, au *malt*, à la *gélatine*,... au *tannin*. Si les procédés précédents ne se distinguent l'un de l'autre que par des dosages différents dans la composition des bains, le procédé *au tannin* de M. le major Russel est presque une création en photographie. Ce savant amateur ne s'est pas borné à choisir le tannin comme matière préservatrice, c'est-à-dire s'opposant à la dessiccation spontanée de la surface sensible, mais il a combiné une série de réactions qui communiquent aux glaces

sèches la faculté de conserver pendant plusieurs jours une sensibilité tout exceptionnelle.

Depuis M. Taupenot qui, un des premiers, a étudié cette importante question et l'a résolue très-ingénieusement en proposant la gélatine, M. Russel est le seul dont le procédé ait fixé la sérieuse attention des savants et des praticiens. Son *procédé au tannin* a été l'objet de plusieurs critiques; mais l'analyse que nous en traçons n'est pas une redite, car elle s'adresse à la publication de perfectionnements notables que l'auteur a introduits récemment dans les manipulations de ce procédé.

M. Russel débute ainsi : Les défauts principaux des procédés conservateurs sont : 1° une grande insensibilité que l'on ne peut éviter qu'en laissant dans la couche une quantité de nitrate d'argent incompatible avec une longue conservation pendant les saisons chaudes; 2° la difficulté d'obtenir une sensibilité uniforme, par suite des variations que présente cette proportion de nitrate d'argent libre; 3° une tendance de la couche à se maculer sous l'influence des poussières qui viennent adhérer à sa surface et y causer des taches. Outre les inconvénients que chacun d'eux présente isolément, les *procédés à sec* publiés jusqu'ici ont un défaut qui leur est commun, c'est que leur succès dépend surtout de l'état physique du collodion.

Cette dernière considération est la seule cause pour laquelle l'auteur indiquait de déposer sur la glace une couche de gélatine ou de caoutchouc; grâce à l'emploi de cet enduit préalable, il n'est guère de collodion qui ne puisse réussir; à la rigueur, on supprimerait cette première couche; mais comme elle offre à l'opérateur un *support* plus épais, les précautions à prendre diminuent. Les inventeurs de collodion seront bien surpris en lisant ce passage, que nous citons textuellement : « Il n'est guère de collodions qui, employés convenablement, ne donnent de bons résultats avec le tannin; peu importe qu'ils soient neufs et cornés, vieux ou pulvérulents. Lors même qu'ils sont ou trop vieux ou trop récents pour servir dans le procédé humide, ils conviennent encore dans le procédé au tannin. Les collodions préparés depuis un certain temps donnent en général, pour les procédés secs, quels qu'ils soient, des résultats meilleurs que ceux nouvellement préparés : cela tient-il à ce que les vieux collodions sont poreux et adhèrent plus aux glaces? L'opacité de la couche est

moins nécessaire dans ce procédé que dans ceux pour lesquels la solarisation est plus à redouter; mais, en général, on doit considérer cette opacité comme étant toujours utile. »

Le collodion sera *nécessairement* ioduré, mais il ne doit pas contenir d'iodure de potassium en liberté; la présence du bromure d'argent augmente singulièrement sa sensibilité. Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire la formule que l'auteur indique, à la suite de nombreuses recherches, comme donnant les meilleurs résultats.

COLLODION NORMAL.

Fulmi-coton	$0^{g},388$
Éther.	$15^{cc},520$
Alcool (D = 0,805)	$7^{cc},760$

SOLUTION POUR IODURER OU BROMURER.

Iodure de cadmium	$0^{g},873$
Iodure d'ammonium.	$0^{g},258$
Bromure de cadmium	$0^{g},719$
Alcool (D = 0,805)	$31^{cc},100$

On peut faire usage d'un collodion seulement bromuré, en imprégnant la glace de la solution suivante :

COLLODION POUR BROMURER.

Fulmi-coton	$0^{g},323$
Bromure de cadmium	$0^{g},509$
Alcool (D = 0,805)	$15^{cc},520$
Éther	$15^{cc},520$

Il faut procéder à la sensibilisation du collodion lorsqu'il a bien pris sur la glace ; le bain de nitrate d'argent a une richesse de 10 p. 100 et doit être entièrement privé de traces d'acide nitrique ; dans ces conditions, on a intérêt à acidifier ce bain par l'acide acétique. C'est après quinze minutes d'immersion dans le bain sensibilisateur, que l'on procède à l'application de la couche de tannin.

Le tannin du commerce paraît très-régulier dans son mode d'action ; cependant, il existe certains échantillons qui renfer-

ment beaucoup plus de matière résineuse insoluble que les autres. Cette impureté n'est pas nuisible, mais elle augmente la difficulté de préparer et de filtrer le liquide. La solution peut varier, dans son degré de concentration, depuis $0^{gr},129$ jusqu'à $1^{gr},541$ par $31^{cc},100$ d'eau, suivant la nature du sujet à reproduire. Avec une solution concentrée, la sensibilité est légèrement diminuée, mais on obtient des tons riches et vigoureux, surtout si le modèle est parfaitement éclairé et s'il présente peu d'oppositions. Mais, dans le cas d'un paysage offrant de grands contrastes, il faut employer une solution de tannin aussi faible que le permettent la facilité et la vigueur du développement. L'application de la couche de tannin s'effectue ainsi : On verse, à plusieurs reprises, la solution de tannin sur la glace, et on lave à l'eau distillée. On abandonne la glace à la dessiccation spontanée, dans une chambre obscure, elle est ensuite chauffée très-légèrement.

Les praticiens savent comment, pour les procédés au collodion humide, il faut mettre le bain révélateur en rapport d'activité avec le bain sensibilisateur; les procédés au collodion sec ne peuvent être soumis aux mêmes conditions. Disons seulement que la durée moyenne de l'exposition à la lumière varie, avec un objectif simple, de quarante secondes à deux minutes, selon l'intensité de l'éclairage et l'ouverture du diaphragme. Avant l'insolation, la glace sera immergée dans un bain d'eau distillée ou même d'eau additionnée de 3 p. 100 de nitrate d'argent. Quant au choix du révélateur, M. Russel ne se prononce pas, il indique cependant, comme étant son bain de prédilection, le mélange de ces deux dissolutions :

1°	Acide pyrogallique.	$6^{gr},144$
	Alcool.	$31^{cc},090$
2°	Eau.	$31^{c},090$
	Nitrate d'argent.	$0^{gr},647$
	Acide citrique, de $0^{gr},647$ à . . .	$3^{gr},840$ (suivant la la concentration de la solution de tannin.)

L'épreuve, bien lavée, est enfin fixée à l'hyposulfite de soude, et le cliché se vernit comme d'ordinaire.

Nous terminerons ce résumé en indiquant quelques-uns des caractères propres aux positifs tirés sur verre, par transparence, d'après des clichés au tannin. L'action du tannin et de l'acide

pyrogallique tend à produire une couleur rouge foncée : l'acide citrique donne un ton bleu ; par suite, en variant la proportion de ce dernier agent, on obtient les différents tons du pourpre; le plus agréable est celui de la sépia. On comprend l'intérêt que présente le procédé au tannin de M. Russel; il permet non-seulement de résoudre la question de la photographie du paysage, mais il donne aux clichés une valeur artistique inconnue jusqu'alors.

Plusieurs opérateurs sont partis de ce procédé pour chercher un collodion sec *instantané;* nous disions, en 1864, que les méthodes proposées jusqu'ici laissaient à désirer, entravées qu'elles sont par des artifices de manipulations. Néanmoins, il faut rendre justice à certains auteurs, tels que M. de Brébisson, M. Anthony, M. Drapier, qui ont présenté cette année des paysages dont l'effet est très-satisfaisant.

II. Application de la lumière au magnésium à la photographie.

Après Humphry-Davy, Gay-Lussac et Thénard indiquèrent une méthode chimique pour préparer quelques métaux alcalins et alcalino-terreux. Cette méthode fut perfectionnée par M. Curandan, par M. Brunner, puis par MM. Mareska et Donny. M. Wœlher montra ensuite comment il était possible d'isoler les métaux alcalino-terreux, en faisant réagir le potassium sur leurs chlorures : des expériences de l'illustre chimiste résultèrent l'aluminium et le glucinium. Plus tard, suivant la même méthode, c'est-à-dire en traitant le chlorure de magnésium par le potassium, M. Bussy isola le magnésium. Ce chimiste n'obtint que des fragments très-tenus de ce métal, aussi n'en décrit-il pas toutes les propriétés.

Les traités de chimie écrits jusqu'à ce jour laissent bien incomplète l'histoire des propriétés physiques et chimiques du magénsium à l'état métallique.

En étendant au magnésium son procédé de fabrication de l'aluminium, M. H. Deville a pu, assisté de M. Caron, extraire des masses notables de magnésium, en décomposant le chlorure double de magnésium et de sodium par le sodium métallique. MM. H. Deville et Caron ont donc fait, pour le magnésium, ce qui avait été fait par l'un d'eux pour l'aluminium; le même pro-

cédé industriel devient commun à ces deux métaux; et très-probablement, il serait applicable à tous les métaux connus et encore *inconnus* de la série *alcalino-terreuse*.

Le magnésium se prépare, en France, chez M. Émile Rousseau; en Angleterre, à l'usine de M. Sonstadt; les deux fabrications sont fondées sur la même réaction chimique, les détails techniques seuls diffèrent.

Les propriétés du magnésium ne pouvaient être étudiées avec exactitude qu'à la condition de disposer de masses suffisamment compactes de ce métal. On reconnut que sa surface, décapée, est aussi blanche que celle de l'argent poli; qu'exposé à l'air, il se recouvre d'une couche grisâtre provenant de l'oxydation : l'air humide n'attaque pas le magnésium pur, comme on le croit[1]; mais ce métal, loin de résister à l'eau bouillante, décompose l'eau à la température ambiante et généralement les liquides oxygénés[2].

Dans cet ordre de propriétés, rentre la nouvelle réaction indiquée par M. H. Deville : selon ce savant, le magnésium décompose à la température rouge la vapeur d'eau.

Il faut remarquer aussi que le magnésium fabriqué en France est rarement pur; le calcium qu'il renferme est la cause principale de son altération superficielle à l'air. Les chimistes qui, les premiers, étudièrent le magnésium, attirèrent de suite l'attention sur la lumière éclatante qu'il répand en brûlant dans l'oxygène, dans le chlore et même dans la vapeur de soufre; mais, ce métal étant alors une rareté, peu d'opérateurs furent à même de répéter cette expérience, et le phénomène en question fut classé parmi les merveilles de la science. Depuis trois ans à peine, MM. H. Deville et Caron ont vulgarisé le magnésium dans le monde scientifique, et les professeurs se complaisent actuellement à répéter, dans leurs cours, cette belle expérience de la combustion du magnésium. Le magnésium sera bientôt un métal industriel; son prix de revient, d'abord très-élevé, 2 fr. le mètre de fil

1. Ce métal, en fil, exposé, pendant vingt jours, sous une cloche, en présence d'air maintenu saturé d'humidité, reste aussi flexible, aussi brillant, aussi *métallique*, en un mot, que s'il est conservé à l'air sec.

2. L'action décomposante du magnésium est singulièrement activée si on accouple ce métal avec le platine; certaines expériences nous portent à croire que cette action peut intéresser l'électro-chimie.

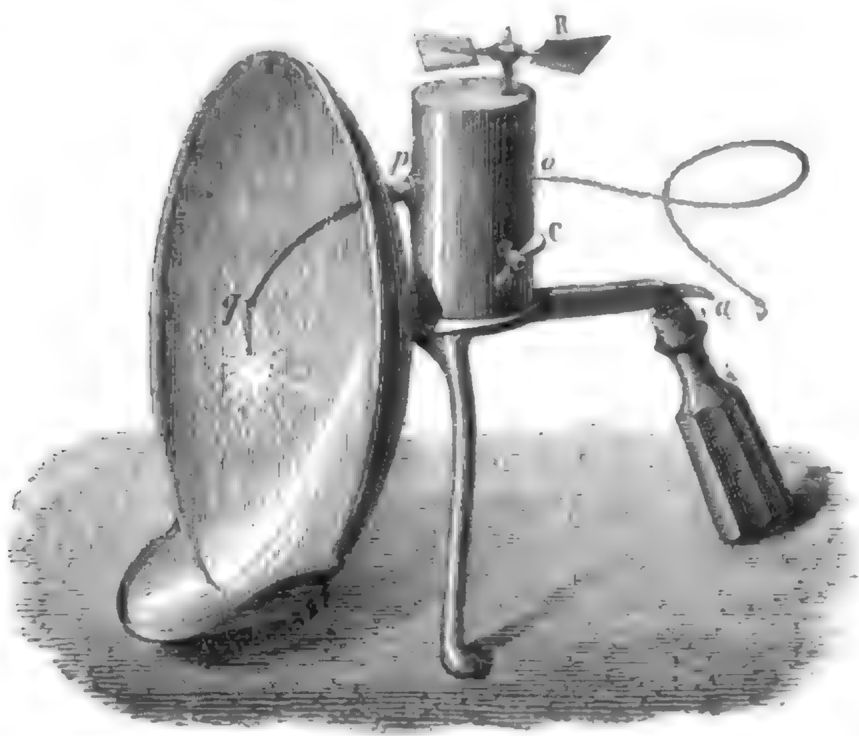
de 1/2 m ill.de diamètre, s'est abaissé en quelques mois à 0f,45 le *gramme* du même fil. En raison de ses propriétés physiques, il est à espérer que ce métal recevra beaucoup d'autres applications; mais nous ne devons parler du magnésium que dans son rapport avec la photographie.

Le magnésium, envisagé comme combustible engendrant une lumière très-photogénique, ne peut être avantageux qu'à l'état de fil (cylindrique ou prismatique); s'il est aisé d'obtenir le métal en lingot, son étirage et son laminage sont des opérations très-minuticuses. M. le docteur Phipson, a bien voulu nous communiquer les détails suivants sur l'étirage du fil de magnésium, à l'usine de M. Sonstadt, près Londres. M. Sonstadt décompose, par le sodium, le chlorure double de magnésium et de sodium; mais, dit M. Phipson, il est plus avantageux de traiter ainsi le chlorure double de magnésium et d'ammonium. Le métal brut est ensuite distillé. Pour effectuer l'étirage, on place le lingot métallique dans un cylindre en fer; une des extrémités est munie d'un orifice dont le diamètre est celui du fil à écouler, l'autre livre passage à la tête d'une vis de pression : le cylindre étant porté à la température de fusion du métal, on détermine l'écoulement de ce dernier par la manœuvre de la vis, et le métal sort à l'état de fil très-homogène dans sa constitution. Cette méthode d'étirage est due au docteur Mathiessen, qui l'a appliquée à plusieurs corps simples métalloïdes, tels que le soufre, le tellure, le sélénium; elle est analogue à celle que l'on emploie pour l'étirage du plomb. Il est important de noter que ces mêmes corps impurs ne se prêtent pas à cette opération. Aussi, les fils français laissent-ils à désirer comme souplesse, parce qu'ils sont écoulés sous l'influence trop énergique de la presse hydraulique; ils conservent alors des corps étrangers.

Le magnésium intéresse vivement les photographes en raison du caractère éminemment photogénique des rayons qu'il émet en brûlant soit à l'air libre, soit dans l'oxygène; c'est sur cette propriété que repose sa véritable application, celle qui intéresse la photographie. On peut aisément se rendre compte de la puissance photogénique de la lumière du magnésium, en l'observant à travers un prisme; le spectre est riche en rayons verts et *bleus*, le violet surtout est très-étendu. Projette-t-on ces rayons sur des matières phosphorescentes, elles sont excitées très-vivement.

Éclaire-t-on le sulfate de quinine, la chlorophyle, le verre d'urane... toutes ces substances qui, on le sait, deviennent lumineuses, par elles-mêmes, sous l'influence de la lumière violette, elles s'illuminent soudain d'une manière éclatante. Les réactions chimiques, que détermine la lumière solaire en raison des rayons violets qu'elle renferme, ne sont pas manifestées par la lumière due à l'iradiation de la chaux (lumière Drummond), dont le spectre manque totalement de cette espèce de rayons ; elles se produisent même lentement sous l'influence de la lumière électrique, mais la lumière du magnésium les effectue avec énergie, à intensité égale. Cette source lumineuse est donc réellement apte à rendre de précieux services à la photographie ; mais est-elle pratique? C'est ce qu'il faut examiner.

Le prix de revient du magnésium, d'abord très-élevé, est actuellement réduit à 0f,45 le gramme : ce prix, qui certainement diminuera encore, permet aux photographes d'utiliser avantageusement ce soleil artificiel lorsque les rayons de l'astre naturel font défaut. Il ne suffit pas de disposer du combustible, il faut encore, pour l'utiliser, un appareil propice, M. Solomon, grâce aux conseils de M. Le Roux, a rendu pratique l'appareil suivant.



Il s'agissait d'obtenir le déroulement régulier du fil : le système de cylindres adopté par Morse pour le papier télégra-

phique a résolu la question. Ainsi le mécanisme, si heureusement concentré dans l'enveloppe C, consiste en un mouvement d'horlogerie, dont la vitesse est régularisée par le volan supérieur, et le système de cylindres dérouleurs, que traverse la tresse de fils, pour aboutir au tuyau, à l'orifice duquel il s'enflamme et qui correspond au foyer du miroir courbe, distributeur de la lumière émise. La manœuvre de cette *lampe* est très-simple : le fil une fois allumé au sein de la flamme d'une lampe à alcool, le déroulement est effectué par le seul déclanchement du mouvement d'horlogerie, à l'aide du bouton *a* ; la combustion est très-régulière, si l'opérateur sait disposer convenablement les aillettes du volant R. Un mécanisme des plus simples permet de mouvoir le réflecteur, de façon à rendre le faisceau de rayons parallèle, convergent ou divergent. Depuis quelque temps, on substitue les fils plats aux fils cylindriques ; peu importe, l'appareil reste le même. Nous recommandons, quelle que soit la forme du fil, de faire usage d'une tresse de quatre fils au moins de 1/3 millim., si l'on désire le maximum de régularité dans l'intensité de la lumière émise, ou de trois fils plats superposés.

M. Le Roux a eu l'idée d'associer le fil de zinc au fil de magnésium par voie d'alliage ou de simple juxtaposition ; on peut ainsi brûler des quantités égales des deux métaux. Le résultat de cette association est intéressant au point de vue physique. Le zinc, porté au rouge, brûle à l'air comme on le sait, mais la partie incandescente se détache et le métal ne se *rallume* pas, comme le magnésium : les deux métaux étant associés à l'état de fils, le zinc brûle aussi régulièrement que son voisin. Si l'on considère que la flamme du zinc en ignition est assez riche en rayons photogéniques, on comprend l'avantage qui résulte de la combinaison de ces deux métaux : l'intensité lumineuse n'est pas augmentée, mais l'économie est de 50 p. 100 pour une même action photogénique.

Il n'a pas été fait, et l'opération exacte est difficile, d'évaluation photométrique de l'intensité relative de la flamme du magnésium : on se borne jusqu'ici à citer les chiffres indiqués par M. Breuster. Un fil de magnésium, mesurant $0^{mm},297$ de diamètre donne, en brûlant, autant de lumière que 74 bougies stéariques : en 10 heures, on consomme $72^{gr},2$ de métal pour maintenir

cette intensité constante : autrement dit, 72gr,2 de magnésium équivalent à 10 kil. de bougie stéarique.

La lumière au magnésium est donc un regain de la science conquis par la photographie : cette propriété oubliée du magnésium a été, en quelque sorte, retrouvée, et elle a si vivement frappé l'imagination de tous, que chacun serait fort embarrassé de citer le nom de l'auteur de cette découverte d'un fait ancien. Ce serait sortir de notre cadre que d'insister sur les autres applications qui ont surgi pour cette intéressante lumière, résumons-les en disant que ce sont presque toutes celles qu'on a souhaitées à la lumière électrique.

III. Emploi des sels d'urane en photographie.

La *Wothlytypie* a fort intrigué le monde photographique et même les savants. Depuis longtemps on parlait d'un procédé merveilleux et chacun attendait avec anxiété la publication de cette découverte. Voici l'analyse du brevet de M. Wothly, acquis par l'*Association photographique d'amateurs*. Ce brevet est intitulé « Nouveau procédé chimique pour obtenir des épreuves photographiques, ainsi que pour la préparation et la manière d'employer les substances qu'exige ce procédé. » Abstraction faite de toutes questions de détails, le point saillant du procédé en question repose sur la combinaison, avec le collodion, du nitrate d'urane et du nitrate d'argent, de telle sorte que ces composés, sensibles à la lumière, se trouvent réunis dans un seul véhicule. Chacun de ces agents, on le sait, a été invoqué isolément; l'idée de l'inventeur est donc de les avoir combinés. On remarque, en outre, que M. Wothly paraît convaincu qu'à l'exception d'un lavage à l'acide acétique, il n'est nullement nécessaire de recourir à aucun bain fixateur.

D'après ce court aperçu, on pourrait croire que la fusion, dans le collodion, des sels d'urane ou d'argent, résoud le problème de la photographie artistique, économique et rapide : ce serait, ce nous semble, une erreur.

La préparation de la surface du papier constitue, à elle seule, une complication de manipulations très-embarrassante pour les opérateurs. Nous craindrions trop d'être inexact en nous bornant au résumé publié à ce sujet. Mais, comme l'auteur a indi-

qué le dosage relatif au collodion, nous le donnons : il sera une preuve à l'appui de l'appréciation que nous faisons de la nouveauté théorique de ce procédé.

« Nous prenons du collodion préparé par l'une quelconque des bonnes méthodes connues, on l'additionne de telle gomme ou de tel agent que l'on désire, pour lui donner de l'élasticité, de la flexibilité et de l'adhérence, afin d'éviter que les bords de l'image ne soient défectueux, ce qui dépend de l'humidité de l'air. Pour rendre ce collodion sensible, nous lui ajoutons, par 497 cent. cubes, 46^{gr},6 à 93^{gr},3 ou même plus de nitrate d'urane, puis 1^{gr},3 à 7^{gr},8 de nitrate d'argent. » Suit l'opération du séchage, à l'obscurité, du papier enduit de cette dissolution; il est ensuite prêt à passer au châssis positif. L'emploi de ce collodion combiné a l'avantage, ajoute l'auteur, de ne pas nécessiter, au tirage, une intensité exagérée de l'image : on sait que, dans les procédés usuels, il est indispensable de forcer le ton de l'épreuve, puisqu'il doit perdre en subissant l'influence des bains subséquents. M. Wothly admet cependant l'intervention du bain de virage, pour lequel on choisira la composition qui semblera donner le meilleur résultat.

M. Cooper est assez connu, en photographie, pour que son appréciation mérite d'être prise en considération. Il a étudié le procédé Wothly et, tout en le critiquant au point de vue de la nouveauté, il reconnaît qu'il renferme, en germes, certaines modifications utiles à introduire dans le code opératoire.

L'habile opérateur insiste sur la préparation première que doit subir la surface du papier et sur la nature de ce papier. Aussi ajoute-t-il : « Je ne crois pas divulguer un secret en disant que la grande difficulté qu'éprouve cette *association* consiste dans le choix d'un papier convenable. » L'encollage et le laminage ne paraissent pas du tout être des opérations réussissant à coup sûr.

Quant à la composition du collodion, M. Cooper est plus explicite que l'auteur, il indique les formules que de nombreux essais l'ont amené à préférer. Ainsi, le *collodion* formé de :

Fulmi-coton.	0^{gr},323	
Alcool.	3 parties	pour 31$^{c.c}$,09.
Éther	1 —	

sera sensibilisé avec :

Nitrate d'urane.	3^{gr},230
Nitrate d'argent	0^{gr},323

M. Cooper procède aussi, après l'insolation, à un lavage à l'acide acétique; car il reste un excès de sel d'argent sur l'épreuve; mais il insiste sur la nécessité d'un agent fixateur, rôle pour lequel le sulfocyanure d'ammonium peut être très-avantageux.

L'habile opérateur reconnaît que, toutes difficultés de manipulation étant vaincues, le procédé Wothly communique au papier une sensibilité plus grande, et que l'éclat et la puissance de tons peuvent atteindre des limites très-étendues. En résumé, si M. Wothly n'a pas fait une découverte scientifique, il a poussé très-loin l'étude des conditions de manipulation d'où dépend la valeur artistique des épreuves de photographie pure.

L'année dernière, nous avons résumé les travaux des consciencieux chercheurs qui se sont dévoués à la solution de cette grande question, « la gravure sur pierre et sur métal par voie photographique. » L'Exposition de cette année prouve, une fois de plus, que, grâce aux travaux de chacun, la question est résolue au point de vue scientifique. Il ne nous appartient pas de discuter les motifs qui s'opposent à son application dans l'industrie.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE CINQUIÈME VOLUME.

Paris. — Imprimerie de P. A. Bourdier et Cie, rue des Poitevins, 6.

Principaux Articles

QUI PARAITRONT DANS LES PROCHAINS NUMÉROS.

M. PAYEN. — Flambage des bois et application du chalumeau à la désagrégation des roches.

M. TRESCA. — Mémoire sur l'écoulement des corps solides soumis à de fortes pressions.

M. MORIN. — Rapports faits au comité consultatif d'hygiène et du service médical des hôpitaux sur les appareils de chauffage et de ventilation, avec notes.

M. ALCAN. — De l'enseignement professionnel des arts textiles.

MM. TRESCA et CH. LABOULAYE. — Recherches expérimentales sur la théorie mécanique de la chaleur.

M. TRESCA. — Procès-verbaux des expériences de mécanique au Conservatoire des arts et métiers.

ANN

D

ONSER

IMPÉ

DES ARTS

TOME CI

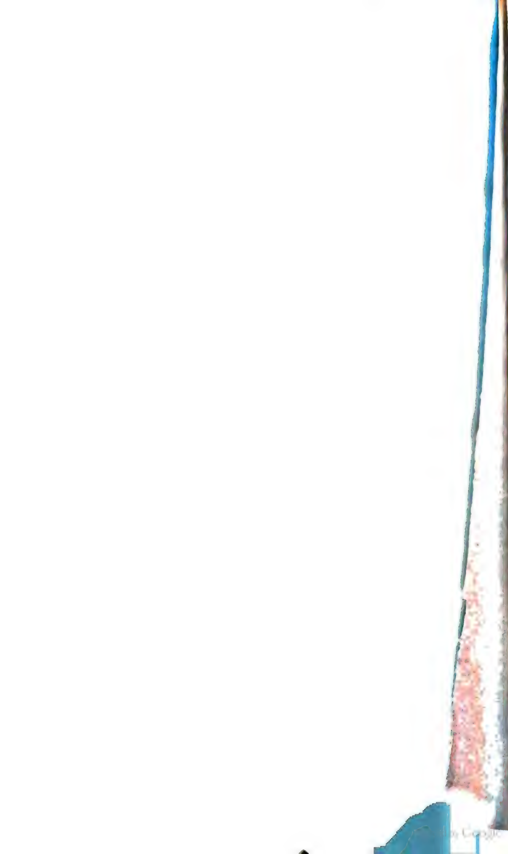
LIBRA

cientifique, Indus

D

E. LA

1864—



Tables des Matières

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
Quai Malaquais, 15

ANNALES
DU
CONSERVATOIRE
IMPÉRIAL
DES ARTS ET MÉTIERS

Recueil de Mémoires et d'Observations sur les Sciences, l'Industrie et l'Agriculture

PUBLIÉ PAR MM. LES PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE.

M. CH. LABOULAYE, DIRECTEUR DE LA PUBLICATION.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

DES PRINCIPAUX ARTICLES QUI ONT PARU DANS LES CINQ ANNÉES

DES

ANNALES DU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

(JUILLET 1860 — JUILLET 1865)

*

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE DE NUMÉRO

DES ARTICLES RENFERMÉS DANS LES CINQ ANNÉES

DES

ANNALES DU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

PREMIÈRE ANNÉE — (JUILLET 1860 A JUILLET 1861)

élévatoire de M. Girard, par *le même*. (*Pl.* 5.) — Chaleurs spécifiques des gaz et des vapeurs, par M. *Ch. Laboulaye*. — Études sur les machines électro-magnétiques et magnéto-électriques, par M. *F.-P. Leroux*. — Les médailles d'or à l'Exposition de Besançon, par M. *Tresca*. — Notice bibliographique sur les Œuvres complètes de Galilée, publiées à Florence par MM. Alberi et Bianchi, par M. *Boquillon*.

IV. — Notice sur le canal du Gange, par M. *de la Gournerie*. (*Pl.* 6 et 7.) — Rapport sur le procédé d'extraction du sucre de betteraves de MM. Possoz et Périer, par MM. *Morin* et *Payen*. — Mémoire sur la conservation des bois, par M. *Payen*. — Études sur la conductibilité des liquides dans les tubes capillaires ; rhéostat destiné à la comparaison des grandes résistances, par M. *E. Becquerel*. — Études sur la ventilation, par M. *Morin*. — Expériences sur une machine à air chaud d'Ericson, par M. *Tresca*. (*Pl.* 8.) — Expériences sur les moteurs à gaz de M. Lenoir, par *le même*. (*Pl.* 9.) — Recherches sur les matières tinctoriales dérivées de l'aniline, par MM. *Persoz*, *de Luynes* et *Salvétat*. — Les médailles d'or à l'Exposition de Besançon, par M. *Tresca*. (suite et fin.)

DEUXIÈME ANNÉE — (JUILLET 1861 A JUILLET 1862)

V. — Observations physiologiques et pratiques sur les rapports qui existent entre le développement de la poitrine et les aptitudes des races bovines, par M. *Baudement*. — Aperçu statistique sur la production et la consommation de la houille en France, par M. *J. Burat*. — Des progrès à réaliser dans la fabrication des fils, par M. *Alcan*. — Sur l'invention et l'avenir des machines à gaz combustibles, par M. *Tresca*. — Expériences sur une machine de M. Danchot, dite granulateur à noir animal, par *le même*. — Note sur un nouveau principe de cinématique et sur le théorème de M. Chasles, par M. *Tom Richard*. (*Pl.* 10.) — Sur la présence de l'acide phosphorique dans les calcaires qu'emploie l'agriculture, par M. *Dehérain*. — Étude sur les horloges à pendule de Galilée et de Huyghens, par M. *Boquillon*.

VI. — Étude sur le chaulage, par M. *Boussingault*. — Expériences sur les ventilateurs, par M. *Morin*. — Alcalimétrie, nouveau procédé de dosage des hydrates et carbonates alcalins, par M. *Persoz*. — Mémoire sur les oxydes complexes, par *le même*. — Note sur un appareil à air chaud et à température uniforme pour remplacer les bains d'huile, par *le même*. — Note sur la préparation du nitrite potassique, par *le même*. — Expériences sur les tuyaux en papier bitumé de MM. Jaloureau, par M. *Tresca*. — *Id.* faites sur la machine à séparer la limaille de fer de MM. Vennin-Deregnaux, de Lille, par *le même*. — *Id.* faites sur un compteur à eau de M. Hirt, par *le même*. — *Id.* de traction faites sur une courroie soudée de MM. Lawrence frères, par *le même*. — Du choc entre corps solides. — Théorie du balancier, par M. *Ch. Laboulaye*. — Note sur une nouvelle disposition propre à faciliter l'observation des aiguilles aimantées dans les instruments de précision, par M. *F.-P. Leroux*. — Visite à l'Exposition de Metz, par M. *Tresca*.

VII. — Douze Leçons sur la verrerie, par M. *Eug. Péligot*. — Note sur la peinture sur verre, par M. *Salvétat*. — Note sur une machine de M. Dietz, rabotant les bois de charpente sur les quatre faces, par M. *Tresca*. (*Pl.* 11.) — L'Exposition des arts industriels dans ses rapports avec l'industrie, par *le même*.

VIII. — De la production de la dextrine et de la glucose par les acides ou la diastase, par M. *Payen*. — Expériences sur une pompe de MM. Farcot, par

M. *Tresca.* (*Pl.* 12.) — *Id.* sur une pompe à membrane de M. Brüll, par *le même.* — *Id.* sur la résistance de la fonte malléable, par *le même.* — *Id.* à l'aide desquelles l'équivalent mécanique de la chaleur a été déterminé, par M. *Joule.* — De l'emploi de l'or dans la décoration des poteries, par M. *Salvétat.* — Sur la composition de quelques terres arables, par M. *Dehérain.* — Introduction aux Études sur l'Exposition de 1862, par M. *Tresca.* — Notice sur le palais de l'Exposition internationale de 1862, par *le même.* — Classification des produits, par *le même.*

TROISIÈME ANNÉE — (JUILLET 1862 A JUILLET 1863)

IX. — Aperçu général sur l'Exposition internationale de 1862. — Bâtiment. — Installation des produits. — Examen comparatif des Expositions des divers pays, par M. *Tresca.* — Produits chimiques des classes 2 et 4. — Paraffine et hydrocarbures liquides, alcool du gaz, *bleu de Prusse* et *prussiate de potasse,* dégraissage des laines par le sulfure de carbone, par M. *Payen.* — Cl. 3. — Produits agricoles et alimentaires, par M. *Dehérain.* — Cl. 8. — Machines motrices : à vapeur, à air et à gaz, par M. *Tresca.* — Cl. 10. — Renseignements sur la ventilation recueillis en Angleterre en 1862, par M. *Morin.* (*Pl.* 13.) — Cl. 11. — Note sur les canons de MM. Armstrong et Whitworth, par M. *Morin.* — Cl. 14. — Photographie et épreuves photographiques, par M. *E. Becquerel.* — Cl. 15. — Appareils d'horlogerie, par M. *Boquillon.* — Cl. 16. — Instruments de musique, par M. *Boquillon.* — Cl. 28. — Gravures et impressions en tous genres, par M. *Ch. Laboulaye.* — Cl. 29. — Matériel de l'enseignement élémentaire, par M. *Saint-Edme.*

X. — Examen comparatif des Expositions des divers pays. — Belgique. — Suisse. — Italie. — Espagne. — Portugal. — États allemands, par M. *Tresca.* — Produits chimiques des classes 2 et 4. — Paraffine et hydrocarbures liquides, alcool du gaz, *bleu de Prusse* et *prussiate de potasse,* dégraissage des laines par le sulfure de carbone, par M. *Payen.* — Cl. 10. — Renseignements sur la ventilation recueillis en Angleterre en 1862, par M. *Morin.* — Cl. 11. — Note sur la valeur comparative des poudres de chasse, françaises et anglaises, par M. *Morin.* — Cl. 12. — Matériel naval et machines marines, par M. le contre-amiral *Paris.* — Cl. 14. — Appareils électriques, par M. *E. Becquerel.* — Cl. 17. — Instruments et appareils de médecine et de chirurgie, par M. *Ul. Trélat.* — Cl. 35. — Produits céramiques, par M. *Salvétat.*

XI. — Examen comparatif des Expositions des divers pays (*suite*), par M. *H. Tresca.* — Cl. 1. — Laminage et forgeage des métaux, par M. *A. Tylor.* — Cl. 4. — Assainissement et mise en valeur des landes de Gascogne, par M. *J. Chambrelent.* — Cl. 5. — Machines locomotives, par M. *E. Flachat.* — Cl. 7. — Les industries textiles à l'Exposition de Londres, par M. *Alcan.* (*Pl.* 14.) — Cl. 8. — Machines à élever l'eau, par M. *H. Tresca.* — Cl. 17. — Instruments et appareils de médecine et de chirurgie (*suite*), par M. *Ul. Trélat.*

XII. — Cl. 7. — Machines à travailler le fer et le bois, par M. *H. Tresca.* (*Pl.* 15.) — Cl. 23. — Matières tinctoriales, par M. *Salvétat.* — Cl. 34. — Industrie du verre, par M. *Salvétat.* — Cl. 30, 31, 33. — Les Industries d'art à l'Exposition universelle de Londres, par M. *Dehérain.*

QUATRIÈME ANNÉE — (JUILLET 1863 A JUILLET 1864)

XIII. — De la production des étoffes à mailles en général et des principaux progrès réalisés dans le travail spécial de la bonneterie, par M. *Alcan*. (*Pl.* 16.)— Du papier à l'occasion de l'Exposition universelle de 1862, par M. *Barreswil*.— De la constitution moléculaire des corps compatible avec la théorie mécanique de la chaleur, par M. *Ch. Laboulaye*. — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur la machine à air chaud de M. Laubereau, par M. *H. Tresca*. (*Pl.* 17.) — *Id.* sur la résistance à l'écrasement de pierres factices provenant de la fusion des laitiers, par *le même*. — Résultats d'expériences d'écrasement sur divers matériaux de construction, par *le même*. — Recherches sur l'exhalation carbonique des animaux domestiques, par M. *Allibert*. — Recherches sur le plâtrage des terres arables, par M. *Dehérain*.

XIV. — Rapport à S. Exc. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur l'enseignement du Conservatoire des arts et métiers en 1862-1863, par M. A. *Morin*. — Essais sur la conservation des farines (1857-1863), par *le même*. — Succédanés du coton, par M. *Alcan*. — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur la machine à égrener le coton, de M. F. Durand, par M. *H. Tresca*. — *Id.* sur la machine du bateau *la Comtesse Luba*, de M. Gache, par *le même*. (*Pl.* 18.) — De la constitution moléculaire des corps, compatible avec la théorie mécanique de la chaleur (2e article), par M. *Ch. Laboulaye*. — Composition des poussières provenant du nettoyage et du débourrage des laines, par M. *A. Houzeaux*. — La parfumerie en 1862, par M. *Barreswil*. — Études pour servir à l'histoire de la Chimie, par M. *P.-P. Dehérain*.

XV. — L'assainissement des villes par la fertilisation des campagnes, par M. *Moll*. — Expériences comparatives sur les machines des bateaux *l'Éclair* et *l'Orne*, par M. *H. Tresca*. — Procès-verbal des expériences faites sur l'appareil distillatoire, dit érotateur, de M. Kessler, par *le même*. — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur la détermination du coefficient d'élasticité du bronze d'aluminium, par *le même*. — De l'emploi du sel en agriculture, considéré sous le rapport administratif, par M. *A. Houzeaux*. — Expériences sur les limons charriés par les cours d'eau, par M. *Hervé-Mangon*. — Discours de M. Gladstone pour la fondation de l'institut Wedgwood. — Rapport sur l'Exposition des écoles de dessin, par M. *Tresca*.

XVI. — Notice sur la vie et sur les travaux d'Émile Baudement. — Observations sur la valeur comparée de plusieurs races bovines et ovines, au point de vue de la production de la viande, de la structure et du rendement, par M. *Baudement*. — Études sur la pyrométrie ; mesure des hautes températures, par M. *E. Becquerel*. (*Pl.* 19.) — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur la machine de M. Leschot, par M. *Tresca*. (*Pl.* 20.)

CINQUIÈME ANNÉE — (JUILLET 1864 A JUILLET 1865)

XVII. — Procès-verbal de comparaison entre les étalons prototypes du mètre et du kilogramme conservés aux archives de l'Empire et ceux du Conservatoire impérial des arts et métiers. — Chauffage et ventilation des amphithéâ-

tres du Conservatoire des arts et métiers, par M. *Morin*. (*Pl.* 21.) — Procès-verbal des expériences faites sur la machine dite Gazo-Moteur, de M. Belou, par M. *Tresca*. — *Id.* sur le Bélier hydraulique de M Bollée, par *le même*. (*Pl.* 22.) — *Id.* sur divers échantillons de tuiles. — Études sur la composition des eaux (3e mémoire). Recherches des matières organiques contenues dans les eaux, par M. *Péligot*. — Sur la salubrité de l'eau de la Seine entre le pont d'Ivry et Saint-Ouen, considérée comme eau potable, par M. *Félix Boudet*. — De l'action de l'ammoniaque sur les chlorures, par M. *Dehérain*. — La photographie en 1864, par M. *Saint-Edme*.

XVIII. — Sur la nitrière naturelle de Tacungo (État de l'Équateur), par M. *Boussingault*. — Lettre sur la nitrification naturelle, par M. *Chabriez*. — Expériences sur une cheminée en usage dans les casernes et dans les hôpitaux d'Angleterre, par M. le général *Morin* (avec fig.). — Compte rendu de la soirée scientifique du 29 octobre 1864 au Conservatoire des arts et métiers, par M. *H. Tresca*. — Théorie mécanique de la chaleur (5e article), Travaux de M. *R. Mayer*; traduction annotée de *Notes of scientific history* de M. *Tyndall*, par M. *Ch. Laboulaye*. — Étude sur les fumiers de ferme, la chaux animalisée, la chaux supersaturée et tous autres engrais, par M. *Mosselman*.

XIX. — Paroles prononcées au nom du Conseil de perfectionnement du Conservatoire impérial des arts et métiers aux funérailles de M. G. Froment, par M. *Tresca*. — Note sur un anémomètre totalisateur à compteur électrique, par M. *Morin*. (*Pl.* 23.) — Sur l'assainissement des vaisseaux et la conservation des charpentes, par M. *Payen*. — Procès-verbal des expériences comparatives faites sur divers systèmes de pompes destinées aux irrigations, par M. *Tresca*. (*Pl.* 24.) — *Id.* sur les appareils d'alimentation pour chaudière à vapeur de MM. Pothez et Thibault, par *le même*. — *Id.* sur une machine à vapeur de quatre chevaux, construit par M. Leclercq, par *le même*. — *Id.* sur la machine électro-motrice de M. le comte de Molen, par *le même*. — *Id.* sur une machine à vapeur rotative de M. Serkis-Balian, par *le même*. — Ouverture du cours de géométrie appliquée aux arts au Conservatoire des arts et métiers, le 15 janvier 1865, par M. *Laussedat*. — Recherches sur le plâtrage des terres arables (deuxième partie), par M. *Dehérain*. — Des lampes à gaz et des fourneaux à gaz à l'usage des laboratoires de chimie, par M. *Bœhm* (avec figures dans le texte). — Bibliographie : Traité complet de la filature du coton de M. Alcan, par M. *Tresca*.

XX. — Sur la composition du pulque, boisson fermentée préparée avec la sève du maguey, par M. *Boussingault*.—Notes et documents sur l'hôpital d'accouchements de Saint-Pétersbourg, par M. le général *Morin*.—Note sur les résultats du service de ventilation des amphithéâtres du Conservatoire pendant le semestre d'hiver 1864-1865, par M. le général *Morin*. — Nouvelle méthode pour évaluer la pesanteur spécifique des corps solides, par M. *J. Persoz* (avec des figures dans le texte). — Sur la nouvelle législation des machines à vapeur, par M. *Tresca*. — Sur la détérioration et les accidents des chaudières à vapeur, par M. *Paget*; traduit de l'anglais par M. *Tresca*. — Procès verbal des épreuves auxquelles a été soumis un comble en fer de la gare du chemin de fer du Nord, par M. *Tresca*. — Le planimètre polaire de M. Amsler (de Schaffouse), par M. *Ch. Laboulaye* (figures dans le texte). — Théorie élémentaire des machines à air chaud, par M. *Ach. Cazin*. — La photographie en 1865, par M. *Saint-Edme*.

AVIS UNIQUE

A Messieurs nos abonnés aux *Annales du Conservatoire Impérial des arts et métiers.*

La 5ᵉ année des *Annales du Conservatoire Impérial des arts et métiers* est terminée.

Nous avons commencé à vendre, comme éditeur, cette publication le 1ᵉʳ juillet 1860, et nous avions l'espoir qu'elle obtiendrait un bon accueil. Cet espoir ne s'est pas réalisé ; après cinq années de sacrifices nous n'avons pu réunir un nombre suffisant de souscriptions pour couvrir le quart des frais de rédaction et d'impression.

Dans de semblables conditions il nous devient impossible de continuer cette publication ; nous rappellerons cependant que, au point où elle en est arrivée, elle forme un ensemble d'articles qui seront toujours consultés avec fruit.

Les *Annales du Conservatoire* se composent de 5 volumes illustrés de nombreuses figures dans le texte et accompagnés de planches.

Prix de chaque volume acheté séparément.	16 fr.
— de la collection complète...........	70 fr.
Les livraisons séparées..................	5 fr.

Pour tous nos abonnés à l'une de ces années, qui désireraient compléter leur collection et qui s'adresseront directement à nous, les années séparées seront cédées au prix de 14 fr. net, au lieu de 16 fr. et les numéros au prix de 4 fr., au lieu de 5.

Les demandes doivent nous parvenir *directement* et *franco* et être accompagnées d'un mandat sur la poste, pour la valeur des volumes demandés. Pour nos abonnés de l'étranger, le prix de chaque année sera de 15 fr. au lieu de 20.

A la réception des demandes les volumes seront expédiés *franco.*

Ci-contre la table des matières des cinq années publiées, et nous

remercions de nouveau les abonnés aux *Annales du Conservatoire Impérial des arts et métiers* de l'intérêt qu'ils ont témoigné à cette publication.

Nous profiterons de la circonstance pour donner avis à tous ceux d'entre eux qui ont déjà envoyé leur renouvellement que nous leur enverrons en échange les *Annales du Génie civil* (bien que le prix en soit de 20 francs au lieu de 16, qui était celui des *Annales du Conservatoire*), publiées par une réunion d'Ingénieurs civils, des anciens élèves de l'École centrale, des professeurs, etc.

Nous joignons également à ce numéro d'adieu la table des matières de cette publication.

Nous avons fondé les *Annales du Génie civil* en janvier 1862, et, depuis cette époque, cette publication parait régulièrement (1) tous les mois. Chaque numéro est composé de 64 à 70 pages de texte grand in-8° compacte, avec figures intercalées et 3 ou 4 planches gr. in-4° et in-folio.

Comme matière, chaque année représente le double d'une année des *Annales du Conservatoire.* Nos abonnés qui ont adressé leur renouvellement n'auront donc pas, croyons-nous, à se plaindre de la proposition que nous leur faisons; si toutefois il en était autrement, nous tenons à leur disposition le montant de leur réabonnement aux *Annales du Conservatoire.*

(1) Nous croyons devoir attribuer en partie l'insuccès des *Annales du Conservatoire* au peu de régularité qui présidait à la mise en vente de cette publication. Ainsi, notre numéro qui parait aujourd'hui (*fin juillet*) aurait dû être livré aux abonnés depuis le 1er *avril;* de cette irrégularité il a surgi des réclamations sans nombre et sans cesse renouvelées dont, une fois pour toutes, nous nous excusons vis-à-vis de nos abonnés et clients, en leur donnant toutefois avis que n'étant pour rien ni dans la rédaction ni dans la direction de ce recueil (si ce n'est pour en solder les frais), nous étions sans action pour arriver à faire paraitre les *Annales du Conservatoire* avec la ponctualité qu'exige une publication périodique, ponctualité scrupuleusement observée par les *Annales du Génie civil.*

Corbeil, typ. et stér. de Crété.

ANNALES DU CONSERVATOIRE

Les **Annales du Conservatoire** se composent de 5 volumes illustrés de nombreuses figures dans le **texte**, et accompagnés de planches.

Chaque volume se subdivise en 4 livraisons ou fascicules.

Prix de chaque volume acheté séparément. . .	**16 fr.**
Prix de la Collection complète.	**70 fr.**
Les Livraisons séparées.	**5 fr.**

Pour toutes les personnes qui posséderaient déjà quelques volumes ou numéros et qui s'adresseront DIRECTEMENT à la LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, 15, quai Malaquais, pour compléter leur collection, les années séparées seront cédées au prix de **14 fr.** net au lieu de **16**, et les numéros au prix de **4 fr.** au lieu de **5**.

Elles devront envoyer le montant de leur demande en un mandat sur la poste au nom de l'Éditeur, M. E. LACROIX.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER ET Cᵉ, rue des Poit...

CATALOGUE GÉNÉRAL

DE LA LIBRAIRIE

EUGÈNE LACROIX

ORDRE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Le Catalogue général de notre librairie formera un volume d'environ 400 pages à 2 colonnes (petit texte). Il paraîtra par fascicules au prix de *vingt centimes*.

Toutes les personnes qui nous font l'honneur de s'adresser à nous pour leur bibliothèque, recevront franco et par chapitres, dès qu'ils seront mis en vente, ledit Catalogue. Elles sont priées de nous en adresser la demande par lettres affranchies.

Tous les trois mois nous publions un Bulletin Bibliographique qui fait connaître (depuis janvier 1857), sous le titre de *Bibliographie des Ingénieurs*, etc., les ouvrages publiés en langue française qui peuvent se classer dans la table méthodique de notre Catalogue. Le prix du numéro est de 25 cent. Nous l'adressons gratuitement aux personnes qui nous en font la demande par lettres affranchies.

Nous avons l'honneur de rappeler à MM. les Membres de la Société des Ingénieurs civils de France et à MM. nos clients qu'un compte courant leur est ouvert dès qu'ils en manifestent le désir. Nous ouvrons aussi un compte à tous les établissements publics, bibliothèques, etc. De même, les ouvrages d'un prix trop élevé pour être acquis sur la seule annonce d'un titre, seront envoyés en communication sous la condition que le port d'aller et de retour restera à la charge du demandeur, si l'acquisition n'a pas lieu. — *Les livres ne peuvent être repris s'ils sont coupés ou tachés, ou si des planches en ont été égarées.* — A l'égard des planches, nous ne pouvons admettre les réclamations que lorsqu'elles sont faites dès la réception des livres.

En dehors des ouvrages mentionnés dans nos catalogues ou bibliographies, nous satisferons à toutes les demandes qui auront pour objet d'autres ouvrages, qu'ils soient publiés en France ou à l'Étranger.

Les différents modes de payement sont, pour la France et l'Italie, l'envoi d'un mandat sur la poste, et, pour tous les pays, l'envoi d'une valeur payable à Paris.

Pour les demandes de peu d'importance on peut encore nous adresser des timbres-poste, mais ce mode de payement a l'inconvénient que, si une lettre s'égare, il n'y a pas de réclamation possible.

La multiplicité de nos publications et l'importance de notre fabrication nous mettent à même d'éditer tous les ouvrages industriels, les plus importants comme les moindres, soit pour notre compte, soit pour celui des auteurs et des grandes compagnies industrielles.

Nous nous chargerons donc de toutes les impressions typographiques, lithographiques, autographiques, etc., et de tous les genres de gravures sur bois, sur pierre, sur cuivre, acier, etc., etc. Nous nous chargerons également, pour le compte des éditeurs de l'étranger et de la province, et pour celui des auteurs, de tous les ouvrages de *notre spécialité* dont *la vente* nous sera confiée.

RENSEIGNEMENTS UTILES

ET APERÇU DES PRIX COURANTS D'IMPRESSION

A L'USAGE DES PERSONNES QUI DÉSIRENT PUBLIER LEURS TRAVAUX.

PAPIER

Trois formats de papier sont généralement usités pour les impressions typographiques :

Le papier dit format	carré....	$0^m,45$ / $0^m,55$
Le — —	raisin....	0 ,50 / 0 ,55
Le — —	jésus	0 ,55 / 0 ,70

Avec ces papiers de formats différents s'impriment des volumes que l'on dit être in-folio, in-quarto, in-octavo, in-douze et in-dix-huit.

Le format in-folio est la feuille pliée en deux, il donne quatre pages d'impression; s'il est in-quarto, la feuille est pliée en quatre, elle donne alors huit pages ; s'il est in-octavo, la feuille pliée une fois de plus donne seize pages d'impression, et enfin on appelle in-douze la feuille qui, pliée, donne vingt-quatre pages, et in-dix-huit celle qui, pliée, en donne trente-six.

Le papier se vend à la rame, la rame est de 500 feuilles.

Le prix moyen du papier de bonne qualité pour impression varie pour le carré de 10 à 12 fr. la rame, pour le raisin de 15 à 17 fr., et pour le jésus de 18 à 20 fr. Le papier de couleur pour couverture est d'un prix plus élevé.

TYPOGRAPHIE

Les prix de la composition typographique sont en raison de la grosseur du caractère employé et du nombre de lettres à la page.

Le prix d'une feuille (16 pages) de trente-huit lignes à la page, et de cinquante-huit *n* à la ligne (la lettre *n* prise comme moyenne et entrant alors 58 fois dans la longueur de la ligne), en caractères dits n° 9 (1), est de 30 à 35 francs.

Il y a en sus les corrections faites sur les épreuves qui se payent 1 fr. l'heure, puis ce que l'on appelle les surcharges, les *tableaux*, les opérations algébriques et autres employées dans les sciences, c'est-à-dire tout ce qui est en dehors du caractère adopté pour le corps de l'ouvrage. Cette dépense ne peut être appréciée qu'approximativement sur la vue du manuscrit.

IMPRESSION

Le prix du tirage se fixe par rame, la rame étant de 500 feuilles imprimées des deux côtés. Le prix du tirage varie de 4 fr. à 10 fr. par rame

(1) Cette page est imprimée en caractères dits 9. On peut donc se rendre compte de leur grosseur. Les caractères plus petits sont du 8, du 7, etc.; ceux plus gros sont du 10, du 11, etc. A mesure que l'on prend des caractères plus petits, la page contient plus de matières, c'est-à-dire un plus grand nombre de lettres, et alors la composition devient d'un prix plus élevé.

selon le nombre plus ou moins élevé du tirage, et le format plus grand ou plus petit. — En outre, lorsqu'il y a des *figures* ou des *vignettes* dans le texte, il y a lieu à un supplément de prix selon le nombre et l'importance de ces vignettes.

GRAVURE SUR BOIS

Pour ce genre de gravure, il y a d'abord le travail du dessinateur qui reporte sur le bois (buis) le dessin qui lui est communiqué par l'auteur; lorsque ce premier travail est exécuté, le graveur grave en relief la figure dessinée. Les prix ordinaires varient de $0^{f},80$ à 1 fr. le centimètre carré; cependant il y a dans ce travail une question artistique qui ne peut être appréciée que sur le vu du dessin; les prix dépendent toujours du travail plus ou moins compliqué, plus ou moins délicat du dessin présenté.

GRAVURE SUR CUIVRE, SUR ACIER ET SUR PIERRE

Ici la question est la même, et l'on ne saurait dire exactement ce que vaut une gravure de ce genre : elle se paye selon que la planche est plus ou moins chargée. On peut prendre comme base qu'une planche ayant $0^{m},36/0^{m},48$ gravure, pour être tirée sur papier du format carré, coûtera en moyenne 200 fr. de gravure, le cuivre compris (le cuivre vaut 7 fr. le kil.).

Pour la *gravure sur acier*, on doit compter 1/4 en plus.

Pour la gravure sur pierre, on peut compter 1/3 en moins que pour la gravure sur cuivre; ce genre de gravure a fait d'immenses progrès et donne d'excellents résultats.

TIRAGE DES GRAVURES (Prix par cent.)

		Sur cuivre ou sur acier.		Sur pierre.		En autographie.
Le format	carré...	6 fr.	—	9 fr.	—	6 fr.
—	raisin...	7	—	11	—	7
—	jésus...	8	—	12	—	8

Nota. Pour tous ces genres de gravures, on doit faire en sorte d'être sobre d'écritures et de lettres et de n'y laisser que ce qui est indispensable, afin de rejeter le reste dans le texte. Chaque lettre se paye de $0^{f},10$ à $0^{f},20$, d'après le mode d'écriture et la grosseur de la lettre.

AUTOGRAPHIE

Cette impression s'emploie très-souvent pour les ouvrages tirés à petit nombre; le prix de la composition d'une planche sur carré varie de 35 à 40 fr. d'après le plus ou moins de travail, et le tirage par cent est de $5^{f},50$.

Nous croyons ces données suffisantes pour que toutes les personnes qui ont en portefeuille des manuscrits puissent se rendre à peu près compte des déboursés qu'elles auraient à faire dans le cas où elles voudraient les livrer à l'impression. E. L.

CATALOGUE GÉNÉRAL

DE LA

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX

15, quai Malaquais, à Paris.

CHAPITRE Ier

MATHÉMATIQUES PURES ET APPLIQUÉES. — TENUE DE LIVRES, CALCULS, TARIFS, GÉOMÉTRIE, ETC.

ADHÉMAR (J.). **Cours de mathématiques à l'usage de l'ingénieur civil**, comprenant :

Traité d'arithmétique et d'algèbre. 3e edit. 1 vol. in-8, 496 p. et 1 pl. 6 fr.

— **Traité de Géométrie**. 2e édition, revue et corrigée. 1 vol. in-8, 549 p. et atlas in-8 de 34 pl. 8 fr.

— **Traité de géométrie descriptive**. 4e édit., revue et augmentée. 1 vol. in-8, VII-502 p. et atlas in-folio de 103 pl. 20 fr.

Annales du génie civil, et recueil de mémoires sur les mathématiques pures et appliquées, les ponts et chaussées, les routes et chemins de fer, les constructions et la navigation maritime et fluviale, l'architecture, les mines, la métallurgie, la chimie, la physique, les arts mécaniques, l'économie industrielle, le génie rural; revue descriptive de l'industrie française et étrangère; publiées par une réunion d'ingénieurs, d'architectes, de professeurs et d'anciens élèves de l'École centrale et des Écoles d'arts et métiers, avec le concours d'ingénieurs et de savants étrangers.

Les *Annales du génie civil* paraissent mensuellement depuis le 1er janvier 1862, par cahiers de 4 à 5 feuilles grand in-8°, avec figures dans le texte et 4 ou 5 pl. grand in-8° double.

Prix de l'abonnement, 20 francs par an. — Les numéros séparés, 3 francs. Les années écoulées, 1 fort vol. d'environ 900 pages avec figures dans le texte et un atlas de 40 planches, in-fol. et in-4, prises séparément, 25 francs. *Il ne reste plus que quelques exemplaires de la 2e année.*

Les *Annales du génie civil*, destinées à tenir tous les hommes speciaux au courant des progrès théoriques et pratiques, ont obtenu très-rapidement un succès légitimement acquis : depuis qu'elles paraissent il ne s'est présenté aucune question importante dans les sciences appliquées qui n'ait été traitée par des hommes competents dans ce recueil qui se trouve aujourd'hui dans la bibliothèque de tous les ingénieurs et de tous les industriels.

AUBRÉ (L. E.), professeur à l'École de Châlons, **Cours de géométrie descriptive**. 1 vol. in-4, 159 p. et 34 pl. 10 fr.

AUBRÉVILLE (LÉOPOLD d'). **Réduction réciproque et sans calculs des monnaies, poids et mesures de tous les pays**. 1 vol. in-18, cartonné. 2 fr. 50

AUDIBERT (L.). **Tableau pratique** pour la racine carrée et la racine cubique de tous les nombres servant au praticien pour lire et comprendre tous les ouvrages spéciaux qui circulent en France sur la construction et le calcul des machines à vapeur, roues hydrauliques, etc., suivi de nombreuses applications à la construction. 1 vol. in-8, 64 p. 1 fr. 50

BABLOT. **Calcul fait des pieds de fer.** Voir *Bibliographie Lacroix*, 1e série, n° 79.

BELENKY. Nouvelle **Théorie des parallèles**. In-8. 3 fr.

BENOIT (P. M. N.), ex-professeur de topographie et de géodésie à l'École d'application d'état-major, ancien élève de l'École polytechnique, etc. **Cours complet de topographie et de géodésie**. Traité des levés à la planchette, à la boussole et au goniomètre, précédé de généralités sur les descriptions graphiques des corps et du globe terrestre en particulier. 1 vol. in-8, 495 p. et 12 pl. 7 fr. 50

Bien que la publication de l'ouvrage de M. Benoit remonte déjà à quelques années, il n'a rien

rdu du mérite qui en a fait le succès ; l'auteur a su coordonner les diverses parties de la topographie en les simplifiant et en les enrichissant à la fois par les résultats du perfectionnement donné aux méthodes, aux instruments et aux procédés de la géodésie pratique. Son cours présente un résumé clair et precis des principes et des modes d'application.

Le volume que nous annonçons contient les deux parties du cours : les levés à la planchette, et les levés à la boussole et au goniometre.

BENOIT (P. M. N.). **La règle à calcul expliquée**, ou Guide du calculateur à l'aide de la règle logarithmique à tiroir. 1 vol. in-12, avec pl. 5 fr.

BERTON (F.). **Sous-détails raisonnés** propres à servir à l'établissement des **prix** et au règlement des **travaux de pavage et carrelage.** Grand in-8. 3 fr.

BERTRAND (J.), membre de l'Institut. **Traité de calcul différentiel et de calcul intégral.** 1 vol. in-4, 780 p. 30 fr.

BEUMANN (G.). **Sous-détails raisonnés** propres à servir à l'établissement des **prix et au règlement des travaux de maçonnerie.** Gr. in-8 de 53 p. 6 fr.

BLANCHET. **Géométrie.** Voir LEGENDRE.

BLOTTAS, ancien agent voyer en chef et architecte. **Analyse de prix**, ou Sous détails et détails des ouvrages de terrassement en cailloutis, chaussées pavées et en asphalte ; maçonnerie, charpente, grosse serrurerie, fonte et peinture, — relatifs à la construction des chemins de fer, des routes et des chemins vicinaux. 1 vol. in-8, 191 p. 2 fr. 50

BOBILLIER (E.). **Principes d'algèbre.** 1 vol. in-8, 288 p. 3 fr. 50

— **Cours de géométrie.** 1 vol. in-8. 403 p. 6 fr. 50

BOCHET (A.). **Guide du comptable** (le), ou Nouveaux Éléments de **comptabilité commerciale.** 1 vol. gr. in-8, 120 p. 5 fr.

Ce Guide est un véritable ouvrage didactique ; la méthode de M. Bochet est synthetique, breve et facile. Outre l'exposition des divers systemes de comptabilité connus, cet ouvrage renferme des exercices théoriques et des exercices éminemment pratiques, les termes en usage dans le commerce, de nouveaux contrôles ou balances, et un journal rationnel à double balance identique et continue.

Avec ce guide, les personnes qui ne connaissent pas la comptabilité en comprendront sur-le-champ le mécanisme ; celles qui en possedent déjà les elements acquerront de nouveaux moyens de contrôle et de simplification.

BONNARD (C.). **L'art de lever les plans.** Analyse raisonnée et démonstration pratique des formules et des opérations trigonométriques les plus usitées, les tables des logarithmes, celles des sinus, la triangulation, l'observation sur le terrain et le calcul des angles par un procédé simple et facile, le tracé de la méridienne, la formation du canevas trigonométrique et les règles des divers modes d'arpentage, etc. 1 vol. in-4, 334 p. et 8 pl. 10 fr.

C'est principalement pour les jeunes gens qui n'ont que légèrement étudié les théories, et pour les personnes d'un âge plus avancé dont la mémoire n'en conserve que de faibles lueurs que cet ouvrage a été écrit. L'auteur a donc dû se donner pour mission de faire un traité éminemment pratique. Dans ce but, il présente une analyse complète de tous les procédés en usage pour opérer le leve et le calcul des plans ; il a résumé et analysé toutes les formules trigonométriques avec de nombreuses applications pour familiariser le lecteur avec les tables des logarithmes et tous les calculs que nécessitent les travaux d'arpentage.

BONNFAU, juré-compteur. **Nouveaux Tarifs**, ou **Traité complet de la réduction des bois de charpente équarris**, bois en grume et bois de sciage, *selon le système métrique.* In-8, Paris, 5 fr.

BORDE (P.), ingénieur civil. **Tables des surfaces** pour les calculs des **déblais et remblais de chemins de fer, routes et canaux**, suivies d'autres tables pour le tracé des courbes sur le terrain. 3 vol. in-8, ensemble 1168 p. 40 fr.

Les tables présentées dans cet ouvrage renferment les surfaces de tous les profils en travers des déblais et des remblais, pour des voies de 5 metres jusqu'à 10 mètres de largeur, avec les intermédiaires de 0m,10 en 0m,10, calculés pour une cote rouge du profil en long depuis 0m,2 de hauteur jusqu'à 20 mètres, en augmentant successivement de 0m,02. Très-rare aujourd'hui.

— **Machines élévatoires** pour la **construction des bâtiments et ouvrages d'art.** Théorie et pratique de ces machines. Texte anglais et français, planches en couleur et légendes. Gr. in-folio. 25 fr.

BOURDON. **Éléments d'algèbre.** In-8. 8 fr.

BOURIENNE. Traité spécial des **comptes en participation**, 4e édition in-8, 43 p. 1 fr. 50

BRETON DE CHAMP (P.), ingénieur des ponts et chaussées. **Description des courbes à plusieurs centres**, d'après le procédé de Perronnet, tableaux numériques et instruction pratique pour déterminer facilement tous les éléments de l'épure ; exposé des conditions générales qui régissent les courbes applicables au tracé des voûtes, etc. Broch. in-4, 63 p. et 1 pl. 5 fr.

— **Traité du nivellement.** 1 vol. in-8. 5 fr.

BRIOT et BOUQUET. Leçons de **Trigonométrie**, 4e édit. in-8, 282 p. 4 fr.

BURGY (J. J.) Recueil de **Tares et usages** des principales villes de commerce de l'Europe, des États-Unis d'Amerique et d'Égypte. 1 vol. in-8, 81 p. 5 fr.

CAILLET (T.), examinateur de la marine. **Tables des logarithmes et co-logarithmes** des nombres et des lignes trigonométriques à six décimales, disposées de manière à rendre les parties proportionnelles toujours additives, suivies

d'un recueil de tables astronomiques et nautiques. 1 vol. gr. in-8, 816 p. 9 fr.

CALLET (F.). **Tables de Logarithmes**. In-8. 8 fr.

Carnet des ingénieurs, recueil de tables, de formules et de renseignements pratiques à l'usage des ingénieurs et des architectes, des chefs d'usines industrielles et de tout directeur et conducteur de travaux.

Depuis 1837 que M. Mathias a fondé la publication de ce Carnet, il est chaque année publié une nouvelle édition, corrigée et augmentée. Tous les trois ou quatre ans, le Carnet est complétement refondu.

Ce Carnet forme un vol. in-12 d'environ 300 pages de texte ou tableaux, avec calendrier perpétuel.

Prix : broché.................. 3 fr.
Cartonné................ 4 fr.
Relié en portefeuille.... 6 fr.

Principales divisions de l'ouvrage : Tables usuelles. — Notions usuelles. — Algèbre. — Géométrie analytique. — Mecanique. — Machines simples. — Resistance des matériaux. — Hydraulique. — Documents relatifs aux constructions. — Matières premières servant aux constructions. — Physique et chimie. — Chaleur et combustibles. — Machines à vapeur. — Géologie. — Donnees économiques, mesures, monnaies, etc., etc.

CARROT (J.-B.). **Sous-détails raisonnés** propres à servir à l'établissement des **prix et au règlement des travaux de charpente**. Grand in-8 de 23 p. 3 fr.

CARTIER (E.). **Album et calculs de résistance de fers** marchands et spéciaux. In-folio, 16 pl. 5 fr.

CATALAN (E.). **Manuel des candidats à l'École Polytechnique**. 2 vol. in-18. 9 fr.

CAZOT. Nouveau Barème commercial, ou **Comptes faits pour les poids métriques** ou poids décimaux, à l'usage des commerçants en gros et en détail. 1 vol. in-8, 280 p. 3 fr. 50

CENSIER (J.) jeune, comptable. **Manuel du commerçant**, Nouveau livre d'arithmétique ou comptabilité commerciale, traitant des calculs anglais d'une manière toute spéciale. In-8, 48 p. 1 fr. 50

CHAIRGRASSE, conducteur des ponts et chaussées, et VINOT (J.), professeur de mathématiques. **Niveaux Chairgrasse**, broch. explicative sur leur construction, leur usage et leurs nombreux avantages. Moyen de se passer de la mire divisée et de la chaîne d'arpenteur dans les opérations du nivellement et d'arpentage. In-12, 54 p. avec fig. et 3 pl. 1 fr.

Niveaux Chairgrasse.

Nos 1.	Planchette en acajou, limbe divisé en cuivre, aiguille en acier, avec boite en carton.		5 fr.
2.	Comme pour le no 1, avec deux pinnules de niveau à chape, avec vis de pression, un genou et une vis de réglage.	Planchette en acajou, avec boite en carton.	12 fr.
		— en cuivre verni, avec boite en carton.	24 fr.
3.	Comme pour le no 2, avec quatre pinnules d'équerre à chape et à vis de pression.	Planchette en acajou.	18 fr.
		— en cuivre verni, avec boite en bois.	40 fr.
4.	Planchette découpée en cuivre verni, aiguille en acier, alidade mobile, deux pinnules fixes, deux pinnules de niveau ; double division, genou, etc., avec boite en bois.		55 fr.
	Canne-trepied.		6 fr.
	Jalon-mire.		6 fr.

Avec une augmentation de 10 francs, chaque appareil sera muni d'une boussole divisée.

CHEVALLOT (P. M.), conducteur des ponts et chaussées. Tables pour le **tracé des courbes sur le terrain ; sinus et tangentes naturelles**, de minute en minute. Tableau présentant le rapport des arcs du rayon pris pour unité; **Notions de trigonométrie rectiligne ;** exemples d'application. 2e édit. 1 vol. in-18, 176 p. ou tableaux, avec 3 pl. 6 fr.

Les notions de trigonométrie rectiligne qui précèdent les tables sont d'une grande simplicité. Vingt-sept problèmes de natures diverses ont pour objet de compléter ces notions en donnant des exemples d'application des tables.

CLARINVAL (A.). Amortissement des **Obligations de chemins de fer**. In-4, 72 p. ou tables. 5 fr.

CLAUDEL (J.). **Formules, tables et renseignements,** etc. 1 vol. in-8 avec fig. et pl. 13 fr. 50

— Introduction théorique et pratique à la **Science de l'Ingénieur**. 3e édition. 1 vol. in-8 avec fig. 10 fr

— **Tables des carrés et des cubes** des nombres entiers successifs de 1 à 10,000, etc. In-8. 3 fr. 50.

— et LECOY, **Comptes-faits** ou **Table de multiplication**. 1 vol. in-8. 4 fr. 50

COLENNE. Le système octaval ou **la numération des poids et mesures réformée.** 1 vol. in-8, 168 p. 3 fr. 50

COLIN. **Tarif de la pose à façon** des ouvrages de menuiserie. 1 vol. in-4. 2 fr. 25

— **Tarif des ouvrages de menuiserie à façon.** Br. in-4, 14 p. 5 fr.

COMBEROUSSE (CHARLES DE). **Cours de mathématiques.** 3 vol. in 8, avec fig. et pl. 25 fr.

CORDOIN (L.). Tarif pour la **réduction des bois carrés** et des bois en grume. In-12. 144 p. et pl. Paris. 3 fr.

CORNIOT (F.). **Sous-détails raisonnés** propres à servir à l'établissement des **prix**

et au règlement des travaux de couverture. Gr. in-8 de 27 p. 4 fr.

COULON (H.). Méthode générale de **comptabilité et de correspondance commerciales**. 2e édit. 1 vol. in-4. 5 fr.

COUTELAS (C.-F.). **Traité spécial sur la théorie, la construction et la vérification des instruments de pesage**, avec fig.; indispensable aux vérificateurs des poids et mesures. In-8 de 61 p. et 1 pl. 3 fr. 50

DE GRANGES DE RANCY (EDMOND). **Petit Traité de comptabilité agricole** en partie simple. 2e édit. augmentée d'un système de comptabilité agricole en partie simple, applicable à l'exploitation d'un domaine, et permettant de surveiller tous les détails de son administration sans y résider et de tenir soi-même le résumé de sa comptabilité sans travail continu, suivie de l'agriculture simplifiée pour les agriculteurs. In-8, 124 p. 3 fr.

Malgré toutes les explications données, il est un grand nombre de personnes que les mots de comptabilité *en partie double* suffisent pour effrayer. C'est principalement pour les agriculteurs qui partagent cette crainte que M. de Granges de Rancy a écrit ce petit traité qui est d'une simplicité remarquable, et qui renferme des principes de comptabilité qu'il suffit de lire une seule fois pour les comprendre et en faire une application raisonnée.

L'arithmétique simplifiée qui complète ce traité indique des moyens faciles pour résoudre toutes les questions de chiffres qui peuvent se présenter dans une exploitation agricole.

DEPLANQUE (Louis), expert près les Cours et Tribunaux, professeur de comptabilité générale. **La tenue des livres** en partie simple et en partie double, mise à la portée de toutes les intelligences, pour être apprise sans maître : — Comptabilités des commerçants, — Banquiers, — Industriels, — Propriétaires, etc. In-8, 191 p. 7 fr. 50

DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ (EM.). Note sur les **meules d'émoulage**, formules nouvelles de résistance des corps cylindriques. In-8, 3e trimestre 1863 des *Mémoires des Ingénieurs civils*. 1 fr.

— Note sur un **théorème de géométrie**. Br. in-8, 3e trimestre 1864 des *Mémoires des Ingénieurs civils*. 7 fr.

DESTÉRACT (A.), entrepreneur de charpente. **Traité complet**, selon le système métrique, pour la **réduction des bois de charpente équarris, bois en grume et bois de sciage**. Ouvrage indispensable à MM. les architectes, métreurs, charpentiers, menuisiers, entrepreneurs de bâtiments, charrons, démolisseurs, marchands de bois, etc., ainsi qu'à MM. les agents des eaux et forêts et des octrois; à ceux de la marine et de l'artillerie. 1 fort vol. in-4, 407 p. de tableaux, relié avec onglets. 20 fr.

Les Tables de M. Destéract sont un monument de patience et d'exactitude; l'auteur devait avoir la conscience des services que son travail était appelé à rendre pour s'imposer les soins et les calculs qu'il a nécessités. Du reste, un succès légitime a été la récompense de M. Destéract. Son ouvrage est aujourd'hui entre les mains de toutes les personnes intéressées dans le commerce et dans l'industrie des bois.

DIDIER GOYARD. Nouveau Traité du **solivage métrique des bois en grume aux** 5e et 6e déduits, augmenté de **l'ancien tarif du même auteur**. In-8, 55 p. 1 fr.

Sous un petit format et avec des allures des plus modestes, ce traité a rendu de grands services au commerce du bois. Il est toujours invoqué comme l'arbitre le plus sûr dans toutes les contestations de mesurage qui peuvent se présenter.

— Nouveau **Tarif du poids des fers et des fontes** de toutes dimensions. In-8, 54 p. 1 fr.

DOLIVET, instituteur du degré supérieur. Nouveau Manuel **du métrage et du cubage des solides et des bois**. In-12, 176 p. et 1 pl. 2 fr. 25

DOUBLET (VICTOR). Nouvelle méthode de **tenue des livres**. 1 vol. in-8, 192 p. 9e édition. 3 fr. 50

DOULIOT (J. P.), professeur d'architecture et de construction à l'École royale gratuite de mathématiques et de dessin en faveur des arts mécaniques. **Cours élémentaire théorique et pratique. — Mathématiques.** 1 vol. in-4, 548 p. et 16 pl. 15 fr.

DUFFAU, agent du service de la voie et des bâtiments du chemin de fer du Midi. Guide du constructeur ou **analyses de prix des travaux de bâtiments** et **ouvrages d'art**. 1 vol. in-8, 316 p. 8 fr.

Cet ouvrage comprend la terrasse, la maçonnerie, la plâtrerie, le carrelage et le pavage, l'asphalte, la charpente, la couverture et la zinguerie, la menuiserie, la serrurerie, la fumisterie, la vitrerie, la marbrerie, la peinture, la dorure, la tenture, les conduites d'eau et les canalisations pour le gaz, la miroiterie, la pose des voies, etc., avec un tarif du poids des fers carrés, méplats et ronds, des fils de fer, de la tôle, de la fonte, des conduites en fonte, du plomb, des tuyaux en plomb, du cuivre, du zinc, un tableau de la réduction des pieds, pouces et lignes en mètres, du poids de divers matériaux en construction, de la dilatation linéaire des solides.

DUHAMEL. **Éléments de calcul infinitésimal.** 2e édit., 2 vol. in-8, pl. 12 fr.

FLEURY (C.), professeur à l'École La Martinière et directeur de l'École de commerce, à Lyon. **Traité spécial des comptes courants et d'intérêts** renfermant toutes les méthodes de comptes courants et d'intérêts, les tableaux des nombres diviseurs fixes à tous les taux, les moyens les plus prompts et les plus faciles de calculer les intérêts et les escomptes, la négociation des effets et les échéances communes; à l'usage des banquiers, des maisons de commerce, des notaires, des capitalistes, des comptables et des maisons d'éducation. In-8, 86 p. et tableaux. 5 fr.

Francœur (L.-B.). **Cours complet de mathématiques pures.** 2 vol. in-8, avec pl. 12 fr.

Gence. **Omnimètre,** ou Instrument au moyen duquel on peut mesurer les hauteurs et les circonférences des arbres sur pied. Broch. explicative in-8, 55 p. 2 fr. 50

Gillet-Hénault. **Système métrique d'égalité,** ou Tarif des nouvelles mesures. 2e édition. In-12 de 544 p. 3 fr. 50

Giquel. **Trigonométrie rectiligne et sphérique.** In-8, 80 p. et 1 pl. 2 fr. 50

Godillot (J.-B.), conducteur des ponts et chaussées. Calcul de la **résistance des poutres en tôle** employées dans la construction des ponts et viaducs. In-12, 72 p. et 1 pl. 2 fr. 50

Les fonctions qu'occupe M. Godillot l'ont amené à faire des études approfondies sur la construction des ponts en tôle. L'embarras qu'il a éprouvé au début par le manque presque absolu d'ouvrages traitant de la construction de ces ponts, lui a suggéré l'idée de publier un livre dans lequel on pût trouver le calcul de la résistance des poutres en tôle et des applications numériques de ce calcul à la détermination de cette résistance, et des dimensions à donner aux poutres, quelle que soit leur portée. Le mérite de ce travail, d'une grande utilité pratique, a été promptement apprécié.

— **Du cercle et de la parabole**. 46 p. et 1 pl. 3 fr.

Gouilly (Al.), ingénieur des arts et manufactures. Calcul de la **résistance des matériaux** et ses applications aux constructions et aux machines, spécialement à l'usage de MM. les élèves de l'École impériale centrale, et de MM. les ingénieurs, architectes, etc. In-8, 158 p. et 3 pl. 6 fr.

Cet excellent ouvrage a été spécialement fait en vue d'être utile aux élèves de l'École centrale des arts et manufactures, et l'accueil qu'il a obtenu a prouvé que l'auteur avait, en le publiant, atteint le but qu'il s'était proposé.

Gournerie (de la). **Traité de géométrie descriptive**. In-4 publié en 3 parties, avec atlas de 156 pl. 30 fr.
Chaque partie séparée. 10 fr.

Guillaume, ingénieur-constructeur. Tableaux de la **résistance des fers à double T** employés dans les constructions de bâtiments et autres Broch. in-folio. 3 fr.

Guilmin (A.). Cours **d'algèbre.** In-8. 4 fr.
— **Recueil d'exercices** proposés dans le cours d'algèbre. In-8, 79 p. 1 fr.

Guy (M. P. G.), officier d'artillerie. Guide pratique du **Géomètre arpenteur.** 2e édition, revue, corrigée et augmentée. 1 vol., 376 p. et 5 pl. contenant 231 fig. 3 fr. 50

Bibliothèque des professions industrielles et agricoles, série C, no 1.

Heudicourt (F. S.). Études sur la **comptabilité industrielle.** Br. in-8, 15 p. 50 cent.

Hirn. Notice sur l'utilité **de l'arithmomètre et de l'hydrostat.** Broch. in-8. 2 fr.

Houel. Tables de **Logarithmes à cinq décimales.** In-8. 2 fr.

Hubert (F.). **Comptabilité commerciale.** In-18, 24 p. ou tableaux. 1 fr. 50

Hugues (E. G.), ingénieur civil. **Tables** donnant en mètres cubes **les volumes des terrassements dans les déblais et remblais** des chemins de fer, canaux, routes, etc., accompagnées d'un Traité pratique sur les calculs des terrassements et d'une instruction sur l'usage de ces tables. 1 vol. in-4, avec de très-grands tableaux et plusieurs planches. 20 fr.

A une époque où il se fait des mouvements de terrain aussi nombreux et aussi importants que ceux nécessités par l'établissement des chemins de fer, et le percement de nouvelles voies publiques, un travail sur les volumes de terre des déblais et des remblais devait être accueilli avec empressement. Aussi les Tables de M. Ed. Hugues n'ont-elles pas tardé à devenir, en quelque sorte, classiques pour les ingénieurs auxquels elles épargnent des calculs longs et fastidieux.

Hulin (V.). **Sous-détails raisonnés** propres à servir à l'établissement **des prix et au règlement des travaux de serrurerie.** Grand in-8 de 45 p. 5 fr.

Husson, vérificateur spécial en serrurerie. **Tarif complet de façons et marchandages relatifs à la serrurerie.** Broch. in-8, 28 p. 2 fr.

Ce tarif de serrurerie est, sans contredit, celui qui est le plus en usage dans le bâtiment; sa simplicité le rend compréhensible pour tous les ouvriers; il fait autorité pour tous les travaux de serrurerie.

Jaclot (J.) et d'Arbel, professeurs. **Récréations arithmétiques.** 2 vol. in-8, ensemble 432 p. 8 fr.

Jeanneney (P.). **Calculs sur la sortie de la vapeur dans les machines locomotives.** 1 vol. in-8, 197 p., tabl. et 7 pl. (Rare.) 10 fr.

Jariez (J.), ancien sous-directeur des Écoles de Châlons et d'Aix, ancien professeur de mécanique à l'École d'Angers, fondateur et directeur de l'École de Lima (Pérou). **Cours élémentaire** de sciences mathématiques, physiques et mécaniques appliquées aux arts industriels, à l'usage des Écoles impériales d'arts et métiers et des Écoles professionnelles, comprenant :

Arithmétique; 6e édition. In-8 de 228 p. 3 fr. 50

— Notions d'algèbre et de trigonométrie. In-8 de 336 p. et pl. 5 fr.

— Géométrie descriptive ; 3e édition, revue et corrigée. In-8 de 183 p. et atlas de 13 pl. 6 fr.

— Mécanique industrielle, 3e édition. 2 vol. in-8, ensemble de 815 p. et 13 pl. 14 fr.

JARIEZ (J.) (en langue espagnole).

Tomo I. Arithmetica. In-8 de 252 p. 5 fr.

Tomo II. Aljebra y trigonometria. In-8 de 348 p., 50 fig. 6 fr.

Tomo III. Jeometria elemental. Tercera edicion, revista y correjida por J. Jariez. In-8 de 498 p., 831 fig. 8 fr.

Tomo IV. Jeometria descriptiva. Segunda edicion, revista y correjida por el autor. In-8 de 183 p., 13 pl. 7 fr.

Tomo V, VI. Mecanica industrial. 2 vol. in-8 de 800 p., 12 pl. 18 fr.

La plupart des traités dont l'ensemble forme ce cours de sciences mathématiques, ont eu de nombreuses éditions : tous ont eu l'honneur de la traduction; aussi n'est-ce pas seulement en France, mais aussi au Pérou et principalement en Espagne, qu'on a apprécié le mérite des ouvrages de M. Jariez. Les questions les plus ardues deviennent faciles par sa méthode d'exposition qu'élucident toujours de nombreux exemples.

LACROIX (S. F.). **Complément des éléments de géométrie**. 435 p., 10 pl. 7 fr. 50

— **Traité élémentaire d'arithmétique** à l'usage de l'Ecole centrale. Vol. in-8, 358 p. 5 fr.

— **Essais sur l'enseignement en général**, et sur celui des mathématiques en particulier. Vol. in-8, 390 p. 5 fr.

LAGRANGE (J.-L.), de l'Institut national. **Théorie des fonctions analytiques**. Paris, 1806.

LALANDE. **Tables de Logarithmes pour les nombres et les sinus à cinq décimales.** 1 vol. in-18. 2 fr.

LEFÉBURE DE FOURCY. **Traité de géométrie descriptive.** 5e édit. 2 vol. in-8, dont 1 composé de 32 pl. 10 fr.

— **Leçons de géométrie analytique**, comprenant la trigonometrie rectiligne et spherique, les lignes et les surfaces des deux premiers ordres. 6e édit. 1 vol. in-8, avec pl. 7 fr. 50

— **Éléments de trigonométrie,** contenant la trigonométrie rectiligne, la trigonométrie sphérique, et quelques applications à l'algèbre. 7e édit. 1 vol. in-8. 2 fr.

— **Leçons d'algèbre.** 7e édit. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

LEFÈVRE. **Extrait du Guide pratique de l'arpenteur.** 1 vol. in-12, orné de 7 pl. 3 fr. 50

— Développement d'un nouveau mode d'observer les **angles d'une triangulation**. 1 vol. in-12, 47 p. texte et 3 pl. 2 fr.

— Connaissances du **Géodésiste.** 1 vol. in-12, 188 p. et pl. 2 fr. 50

LEFORT (F.). **Tables des surfaces de déblai et de remblai des largeurs d'emprise et des longueurs des talus.** In-8. 3 fr.

LEGENDRE (A. M.). **Éléments de géométrie,** avec additions et modifications, par A. Blanchet. 1 vol. in-8, 280 p. avec fig. 4 fr.

LEROY (C. F. A.). **Traité de stéréotomie**. 3e édit., revue par M. E. Martelet. 1 vol. in-4, avec atlas de 74 pl. in fo. 26 fr.

— **Traité de géométrie descriptive.** 7e édit., revue par M. Martelet. 1 vol. in-4, avec atlas de 71 pl. 16 fr.

LIGNIER. **Cours d'analyse** professé à l'Ecole navale. 1re année d'études. 1 vol. in-4, 346 p. lithog., nomb. figures dans le texte. 6 fr.

LINDELOF et l'abbé MOIGNO. **Leçons de calcul des variations**. 1 vol. in-8 de 352 pages. 5 fr.

Les mathématiciens ont favorablement accueilli ces leçons parce qu'elles résument les derniers progres de cette branche importante de l'analyse dont l'origine remonte à Bernoulli, et dont les developpements réguliers sont dus à Euler et à Lagrange.

LOUPOT (C.). Cours de **géométrie élémentaire.** 1 vol. in-8, 560 p. et 14 pl. 6 fr. 50

LUCAS (F.). Théorie des **courbes planes.** In-8 et pl. 6 fr.

MATHOREL (H.). **Tables d'intérêts** calculés pour tous les taux jour par jour, depuis 1 jusqu'à 365, présentant l'intérêt à 5 p. 100 de toutes les sommes possibles, et pour quelque échéance que ce soit. 1 vol. in-4, 380 p. 10 fr.

MÉZIÈRES. **Comptabilité agricole.** In-8, 33 p. et 1 tableau. 1 fr. 25

MIDY, ingénieur civil. **Table de Logarithmes** des nombres, disposée en forme de répertoire, à l'aide de laquelle on trouve sur-le-champ, et sans feuilleter la table, le logarithme d'un nombre quelconque, de 1 à 100,000, et réciproquement. In-8, 12 p. 1 fr. 50

MONGE, de l'Institut. **Géométrie descriptive.** 1 vol. in-4, 280 p. et 32 pl. 15 fr.

MONGIN (G.), professeur de comptabilité. Cours de commerce ou **Guide pratique du commerçant et du teneur de livres** en matière d'arithmétique commerciale et d'opérations de commerce, divisé en 3 parties. Première partie : Traité d'arithmétique réduite à sa plus simple expression. Seconde partie : Application de l'arithmétique aux opérations de commerce. Troisième partie : Traité complet de la tenue des livres ou de comptabilité générale, en partie simple et en partie double. 1 vol. in-8, 420 p. 5 fr.

MORIN. **Résistance des matériaux**. Nouvelle édition. 2 vol. in-8. 15 fr.

MULAT. Traité de **géométrie pratique,** précédé du système métrique des poids et mesures, et suivi des règles de trois, d'in-

térêt et d'escompte, avec un grand nombre de modèles d'actes sous seing privé, à l'usage des écoles primaires, des cultivateurs et des ouvriers de toutes les professions. In-12, 135 p. et 4 pl. 1 fr.

Jamais livre n'a mieux mérité le titre de *Traité pratique*. Les éléments de la géométrie y sont expliqués avec une clarté et une simplicité qui les mettent à la portée de toutes les intelligences.

NAVIER. **Leçons d'analyse.** 2e édit. revue par M. LIOUVILLE. 2 vol. in-8, avec pl. 10 fr.

OLIVIER (T.). Développements de **géométrie descriptive.** 1 vol. in-4 et atlas in-4. 18 fr.

OLIVIER (Th.). **Cours de géométrie descriptive.** 2e édit., revue et augmentée ; deux parties in-4, avec atlas de 97 pl. 22 fr.

OPPELT (G.), professeur de sciences commerciales. **Traité général théorique et pratique de comptabilité commerciale, industrielle et administrative,** à l'usage des commerçants et des institutions d'instruction publique. Ouvrage adopté pour l'enseignement, et publié sous la direction d'une société d'anciens juges consulaires. 1 vol. in-8, 367 p. et tableaux. 4 fr.

Il existe un si grand nombre d'ouvrages sur la comptabilité qu'on pourrait presque affirmer que tout a été dit sur cette matière. Ce que l'auteur a voulu, c'est de réunir en un seul cadre tout ce que les meilleurs auteurs ont écrit sur la comptabilité et la tenue des livres, et de présenter un traité tel, que, par sa clarté, sa concision et sa simplicité, il puisse se distinguer des ouvrages de cette nature qui l'ont précédé.

En coordonnant méthodiquement son travail, M. Oppelt s'est surtout attaché à développer graduellement toutes les règles, et par conséquent à mettre les explications à la portée de tout le monde.

OZANAM. **Récréations mathématiques.** 4 vol. 1778. 25 fr.

Papier quadrillé de 2 en 2 millimètres, adopté par les ingénieurs et par les compagnies de chemins de fer. Chaque carnet in-12 obl. cart. en toile. 2 fr. 50

La main, jésus collé. 6 fr.

PICARTE (R.). Tableau indiquant instantanément le nombre de jours écoulés entre deux époques quelconques. In-fol. 2 fr.

PICHON, métreur-vérificateur de serrurerie. **Série de prix** d'après des sous-détails pour servir à l'estimation et au **règlement des travaux de serrurerie,** revue, entièrement modifiée suivant le prix des matières premières et des objets fabriqués, tarif adopté par la Société centrale des architectes. In-4, 46 p. 4 fr.

PIGIER. **Tenue des livres.** 1 vol. in-8, 282 p. et tableaux. 5 fr.

— Réfutation des nouvelles études de M. Monginot et de la tenue des livres de M. Vannier. Br. in-8, 88 p. 1 fr. 50

PUISSANT, ingénieur. Traité de **topographie, d'arpentage et de nivellement.** 1 vol. in-4. Tableaux et 6 planches. (Rare.)

RABUTÉ (P. L. C.). Tarif général du **poids des métaux.** In-8. 3 fr.

RÉDARÈS. **Tenue de livres.** 1 vol. in-8. 6 fr.

RENOIR (C.), professeur de mathématiques et de physique. **Eléments de géognosie.** 1 vol. in-8, 252 p. 4 fr.

RICHARD (J. Tom), ingénieur. **Aide-mémoire général et alphabétique des ingénieurs.** 2 vol. in-8, ensemble de 1531 pag., accompagnés d'un atlas in-4, de 112 planches. 30 fr.

Nous ne nous permettrons pas d'analyser l'ouvrage du savant dont nous regrettons la perte ; l'Aide-mémoire de Tom Richard se trouve dans la bibliothèque de tout ingénieur qui a pu parcourir un moment cette œuvre qui résume les cours faits au Conservatoire des arts et métiers par cet éminent professeur. La forme alphabétique adoptée par l'auteur offre pour les recherches une facilité désirable pour tous les ouvrages de ce genre.

— **Table des sinus,** cosinus, tangentes et cotangentes, de minute en minute, le rayon de cercle étant de 10 000 000. Broch. in-8, 27 p. 1 fr. 50

RINGUELET (H.). **Système métrique** mis à la portée de toutes les intelligences, avec des tables de conversion des mesures nouvelles en mesures anciennes, et réciproquement ; suivi de Considérations générales sur les bois, sur les divers combustibles, sur les métaux, sur l'eau et quelques-uns de ses effets relatifs à l'industrie, etc., à l'usage de toutes les classes de la société. 1 vol. in-8, 348 p. 3 fr. 50

RITT (GEORGES). Problèmes d'application de **l'algèbre à la géométrie,** avec les solutions développées. 1 vol. in-8. 5 fr.

SASIAS. **Cours de géométrie descriptive et de trigonométrie,** professé à l'École navale. 1re année d'études (1863-1864). 1 vol. in-4, 48 p. lithog., nomb. fig. dans le texte. 1 fr. 50

SCHONFELD (BERNARD). **Sous-détails raisonnés,** propres à servir à l'établissement des **prix et au règlement des travaux de menuiserie.** Grand in-8 de 88 p. 6 fr.

SÉNÉCAL (E.). Application de la comptabilité aux sociétés commerciales et à l'industrie. **Comptabilité des agents de change.** 1 vol. in-8, 232 p. 3 fr.

SERGENT. **Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jaugeages de tous les corps,** appliqué aux arts, aux métiers, à l'industrie, aux constructions, aux travaux hydrauliques, etc., enfin la rédaction des projets de toute espèce de travaux du ressort de l'architecture, du génie civil et militaire ; terminé par une analyse et une série de prix de 916 articles, avec détails sur la nature, la qualité, la façon et la mise en

œuvre des matériaux. 4e édit., entièrement refondue et augmentée, 2 vol. in-8, 1166 p., avec atlas de 39 pl. 32 fr.

Ce traité est le plus complet qui existe : la première et la deuxième partie contiennent tous les procédés géométriques pour le mesurage et les calculs relatifs aux métrages quelconques; — l'estimation des travaux, les connaissances des notions générales pour la rédaction d'un devis, la nature, la qualité, la façon et la mise en œuvre des matériaux, l'analyse des prix forment la matière de la troisième partie.

Les trente-neuf planches in-folio de l'atlas, gravées en taille-douce sur acier, contribuent à faire de ce traité un ouvrage vraiment pratique.

SERVIÈRES (ACHILLE). **Tables Servières. Barême nouveau**, 1 vol. gr. in-4, 208 p. Voir *Bibl.*, 2e série, p. 55. 15 fr.

SIMILIEN, professeur à l'École d'arts et métiers d'Angers. **Des opérations géométriques**. 1 vol. in-8, 45 p., 6 planch. (Rare.)

SONNET (H.) et FRONTERA (G.). **Éléments de géométrie analytique**, rédigés conformément au programme d'admission à l'École polytechnique et à l'École normale supérieure. Vol. in-8, 590 pages, 2 pl. 8 fr.

SONNET. **Algèbre élémentaire**, 1 vol. in-8. 6 fr.

STURM. **Cours d'analyse de l'École Polytechnique**. 2 vol. in-8, avec fig. 12 fr.

Tarif de la Ville de Paris, prix de règlement applicable aux travaux de bâtiment. In-4. 10 fr.

TÉORT et PETIT. **Le Compteur métrique**, nouveau livre des comptes faits, système métrique décimal, comprenant tous **les calculs faits** pour l'achat et la vente des marchandises, soit au poids, au mètre et au litre; l'escompte ou l'intérêt à tous les taux, depuis 1 et demi p. 100 jusqu'à 10, et depuis 1 fr. de capital jusqu'à 1 million, les comptes faits pour la paye des journées d'ouvriers, composées de 8 à 12 heures de travail, avec les heures en plus et en moins, depuis 0 f. 25 la journée jusqu'à 10 fr. 1 vol. in-12, cartonné, 397 p. 5 fr.

THIOLLET. **Art de lever les plans**. 1 vol. in-8, avec fig. 7 fr. 50

TOUSSAINT (C. F.). **Traité de géométrie et d'architecture** théorique et pratique simplifiée. 2 vol. in-4. (Rare.)

TRESCA. **Traité élémentaire de géométrie descriptive**, rédigé d'après les travaux de M. Th. Olivier. 2 vol. in-8. 7 fr. 50

VALLÉE (L. L.), ancien élève de l'École polytechnique. **Traité de la géométrie descriptive**. 2 vol. in-4. — 1 vol. in-4 de 255 p., 1 atlas de 60 pl. 15 fr.

VAN ALPHEN, métreur-vérificateur de serrurerie. **Manuel calculateur du poids des métaux employés dans les constructions.** Édition revue et augmentée, contenant : 1° les tableaux de la classification nouvelle des fers et profilés divers, des feuillards et de la tôle; 2° 36 tableaux de 1100 échantillons divers de fers unis; 3° 5 tableaux de poids de 25 épaisseurs de tôle; 4° 14 tableaux de poids de toutes les fontes employées journellement dans les bâtiments, avec divers renseignements très-utiles à consulter; 5° 9 tableaux de poids de plomb, zinc et cuivre rouge. 1 vol. in-8, 83 p. 3 fr. 50

VAUCOURT, géomètre. **Table donnant le cube des bois selon leurs divers emplois** dans le commerce, l'industrie, l'architecture civile, militaire et navale, indiquant le cubage au quart de la circonférence, au 6e déduit, au 5e déduit, à arêtes vives ou d'après les principes de la géométrie; le cube des bois ronds et leur évaluation en planches au mètre carré; le cube des prismes quadrangulaires; les rapports entre le diamètre, la circonférence et la surface du cercle, et l'application de ces principes au mesurage des corps ronds; la conversion du mètre cube en solives en pieds de roi de 325 millimètres, et en pieds métriques de 333 millimètres, et réciproquement, etc. 1 vol. in-8, 399 p. 6 fr.

VERNET (Z.). **Sous-détails raisonnés**, propres à servir à l'établissement des **prix et au règlement des travaux de peinture, dorure, décors et vitrerie**. Grand in-8 de 59 p. 4 fr.

VINOT (J.). **Calculs faits à l'usage des industriels.** Nouvelle édition des calculs faits de LENOIR. Recueil de tables et de calculs à l'usage des chefs d'ateliers, des contre-maîtres, des ouvriers. 1 vol. in-18, etc. 3 fr.; cartonné, 4 fr.

Les 96 tables différentes qui composent ce livre répondent à toutes les questions que peuvent avoir à résoudre un géomètre, un constructeur, un industriel, un capitaliste quelconque. Outre les tables, l'auteur indique un grand nombre de formules avec des exemples pour en faciliter l'application.

La précédente édition avait été revue par Grouvelle et Championnière.

— **Récréations mathématiques**, nouveau recueil de questions curieuses et utiles extraites des auteurs anciens et modernes. 1 vol. in-8, 215 p. 3 fr.

— Erreurs relatives correspondantes des données et du résultat des **opérations d'arithmétique**. Broch. in-18, 20 p. 30 c.

— Petite **Table de Logarithmes**. Br. in-8. 50 cent.

ZÉGU (L.). **Sous-détails raisonnés**, propres à servir à l'établissement des **prix et au règlement des travaux de marbrerie, poêlerie, fumisterie, fontainerie et plomberie**. Gr. in-8 de 62 p. 4 fr.

CHAPITRE II

DESSIN — LAVIS — PERSPECTIVE — DESSIN DES MACHINES, ETC.

ADHÉMAR (J.). **Traité des ombres, théorie des teintes et des points brillants**, perspective cavalière et isométrique. Deuxième édition, revue et augmentée. Un vol. in-8, 372 p. et atlas grand in-fol. de 41 pl. 20 fr.

— **Traité de perspective linéaire**, à l'usage des artistes. Troisième édition, corrigée et augmentée. Un vol. in-8, 264 p. et atlas grand in-fol. de 81 pl. 32 fr.

Album de papier quadrillé pour plans. In-8 oblong, cartonné. 2 fr.
Par main, jésus collé. 6 fr.

ARMENGAUD frères et AMOUROUX. **Cours raisonné de dessin industriel**. Un volume grand in-8 jésus, 360 p. et atlas de 43 planches. 25 fr.

— **Le Vignole des mécaniciens**. Un vol. in-4 et atlas in-fol. 35 fr.

BARDIN (G.). **Cours de dessin industriel**. In-fol.
1re partie. Géométrie graphique. 2 fr. 50
2e part. Étude géométrique des solides. 5 fr.
3e part. 1re section. Construction des machines. 5 fr.

BORDE (D.). Machines élévatoires pour la **Construction des bâtiments et ouvrages d'art**. Théorie et pratique de ces machines. Texte anglais et français, planches en couleur et légendes. Gr. in-fol. 25 fr.

BRIDE (CHARLES). **Le Vignole du serrurier**. In-4 oblong, 32 p. et 48 pl. 8 fr.

BRISSON. **Collection de dessins**. 2 vol. grand in-fol.

CLINCHAMP (F. G. V. DE). **Nouveau Traité de la perspective des ombres** et de la théorie des reflets. Un vol. in-4, relié, 242 p., 27 pl.

CORNET, ingénieur, ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures, répétiteur à cette École. **Album des chemins de fer.** In-8 oblong, 16 p. et 74 planches. 6 fr.

Cet Album est le résumé graphique du cours professé par M. A. Perdonnet à l'École centrale des Arts et Manufactures. Il se compose de 74 planches représentant en détail tout ce qui se rapporte aux dispositions générales des voies de fer, aux terrassements, à la construction de la voie, aux changements, croisements et coupements des voies, aux plaques tournantes et chariots, aux dispositions des gares, au matériel roulant, wagons, machines, etc., etc. Plusieurs éditions successives ont démontré que l'utilité de cet Album a été promptement appréciée.

CORRÉARD (J.). **Cours classique de dessin topographique**. Oblong. 25 fr.

CRESSON (A. J.), professeur à l'École d'artillerie et au lycée de Rennes. **Principes de dessin linéaire**, enseignement méthodique préparant à tous les genres : à la main, à vue et sans instruments. 19 p. de texte et 9 pl. 2 fr. 50

DU MONCEL (le vicomte). **Théorie de la perspective apparente**, suivie d'une notice sur l'art lithographique. In-8, 89 p. et 1 pl. 2 fr.

DURAND (J. N. L.) Partie graphique des **cours d'architecture** faits à l'École polytechnique depuis sa réorganisation. Un vol. in-4, 35 p., 34 doubles-planches.

DUVAL (CH.-L.), peintre. **Du dessin dans l'industrie, dans les beaux-arts**, à propos de l'Exposition industrielle de 1863 et du concours des élèves. In-12, 91 p. 1 fr.

FOUCHÉ (J.). **De l'enseignement oral du dessin industriel** dans l'éducation artistique et professionnelle, mémoire sur l'enseignement du dessin graphique, programme d'un cours complet de dessin et de lavis. In-8, 39 p. 1 fr.

GAILHABAUD. **L'art dans ses diverses branches**, ou l'architecture, la sculpture, la peinture, la fonte, la ferronnerie, etc., chez tous les peuples et à toutes les époques jusqu'en 1789, d'après les travaux des principaux architectes et artistes, reproduits par les plus habiles graveurs et chromolithographes. Première partie. Livraisons 1 à 35. In-4, 36 p. et 70 pl.
Cette partie, brochée, 65 fr., sur papier blanc; 110 fr. sur papier de Chine.

GIRARDON, professeur. **Cours élémentaire de perspective linéaire**, à l'usage des écoles des beaux-arts, de dessin, des artistes, architectes, etc. Deux vol. in-8, dont un atlas. 6 fr.

GOURNERIE (J. de la). **Traité de la perspective linéaire.** 1 vol. in-4, avec atlas in-fol. de 45 pl. dont 8 doubles. 40 fr.

GUETTIER (A.). **De l'organisation de l'enseignement industriel.** 1 vol. in-8, 157 p. 4 fr.

— **Histoire des écoles d'arts et métiers.** In-8, 447 p. 6 fr.

GUILMARD (D.). **La connaissance des styles de l'ornementation.** Histoire de l'ornement et des arts qui s'y rattachent, depuis l'ère chrétienne jusqu'à nos jours. 1 vol. in-4 jésus, 136 p. de texte et 42 pl. 25 fr.

GUILMARD et BORDEAUX. **Le garde-meuble**, journal d'ameublement publiant 54 pl. en 6 livraisons, par an : en noir, Paris, un an

22 fr. 50. Province, 26 fr. Étranger, 28 fr. En couleur : Paris, 36 fr. Province, 40 fr. Etranger, 42 fr. Chaque feuille séparée, en noir, 50 c.; en couleur, 75 c.

— **L'ameublement et l'utile réunis** recueil de dessins d'ameublement, 6 livraisons par an. En noir: Paris, un an, 15 fr. Province, 18 fr. Etranger, 20 fr. En couleur : Paris, 25 fr. Province, 28 fr. Etranger, 30 fr. Chaque numéro séparé, en noir, 25 c.; en couleur, 40 c.

— **Collection des petits garde-meubles**, chaque album en noir, 5 fr.; en couleur, 6 fr.

— **Le carnet de l'ébéniste parisien**. Un album in-8 jésus, de 104 feuilles. Prix, en noir, 25 fr.; en couleur, 35 fr.

— **Le carnet du fabricant de siéges**, en noir, 13 fr.; en couleur, 18 fr.

— **Le carnet vieux bois**, 25 pl., en noir, 6 fr.; en couleur, 10 fr.

— **Album des ornements d'appartements**, 24 pl. avec titre, en noir, 6 fr.; en couleur, 10 fr.

— **Album du tapissier parisien**, en noir, 6 fr.; en couleur, 10 fr.

— **Album du tourneur parisien**, 24 pl. in-8 jésus. 6 fr.

— **Album du menuisier parisien**, 96 pl. 40 fr. La feuille séparée, 50 c.

— **Le menuisier moderne**, album de 24 pl., grand format. 15 fr.

— **La décoration** au XIXe siècle, 36 pl. 45 fr. La livraison de 4 pl. 5 fr.

— **Album du sculpteur parisien**, la feuille. 50 c.

— **Album gothique**. 25 pl. en noir, 6 fr.; en couleur. 10 fr.

Hen (Charles). **Les splendeurs de l'art en Belgique**. Texte par MM. Moke, Fétis et Van Hasselt. 1 vol. gr. in-8 de 413 p. Illustré par MM. Hendrickx et Stroobant.

Hermant (A.), architecte. **De l'influence des arts du dessin sur l'industrie**. Mémoire couronné par l'Institut. 1 vol. in-8, 148 p. 3 fr.

Hoffmann Kellerhoven. **Recueil de dessins** relatifs à l'art de la décoration chez tous les peuples et aux plus belles époques de leur civilisation. 2 vol. gr. in-fol. 150 fr.

Husson. **Toile à calquer**, le mètre. 2 fr. 50

Jariez (J.), ancien sous-directeur des Écoles de Châlons et d'Aix, ancien professeur de mécanique à l'École d'Angers, fondateur et directeur de l'École de Lima (Pérou). **Cours élémentaire** de sciences mathématiques physiques et mécaniques appliquées aux arts industriels, à l'usage des Écoles impériales d'Arts et Métiers et des Ecoles professionnelles.

— **Géométrie descriptive**. Troisième édition, revue et corrigée. In-8 de 183 p. et atlas de 13 planches. 6 fr.

Knab (C.). Sept tableaux peints d'une grande dimension (échelle de 1/2 à 1/5 de grandeur naturelle) destinés à l'enseignement. **Machine à vapeur de Watt**. Différentes **machines à élever l'eau**, pompes, vis d'Archimède, bélier hydraulique. **Presse hydraulique** avec sa pompe et tous ses accessoires. **Moteurs hydrauliques**, roue en dessus, en dessous, etc. **Turbine**. Coupe d'une **locomotive**. Elévation d'une **locomotive**. Chaque tableau se vend séparément. 12 fr.

Verni, collé sur toile, et muni de rouleaux noirs, en bois. 25 fr.

Cette collection est complétée par deux autres tableaux de machines à vapeur marines (voir Ortolan).

Lalaisse (Hippolyte), professeur à l'Ecole polytechnique. **Les Chevaux français en 1852**, collection de 48 pl. dessinées d'après nature et lithographiées par H. Lalaisse, sous la direction et avec texte descriptif de M. Eug. Gayot, directeur de l'administration des haras. In-fol. cartonné contenant plus de 100 types divers, choisis dans les principales races des chevaux de France, tous pris sur nature et variés d'attitude et d'aspect.

La collection. 45 fr.
La feuille. 1 fr. 25

Laurent (P.), ancien élève de l'École polytechnique. **Théorie de la Peinture**, perspective linéaire et aérienne, à l'usage des artistes. Deuxième édition, revue et corrigée. 1 vol. in-8, 330 p. et 8 pl. 7 fr. 50

Le Béalle, maître des travaux graphiques au collége Rollin. **Cours théorique et pratique de dessin linéaire**. Douzième édition. Cours élémentaire. 4e partie. Etude des surfaces. Charpente, plans, édifices, etc. In-4, 4 p. et 14 pl. Paris. 2 fr.

Leblanc. **Choix de modèles appliqués à l'enseignement du dessin des machines**, avec un texte descriptif, dessiné, gravé et publié par Leblanc, professeur au Conservatoire des arts et métiers. 8e éd. In-8, 152 p. et atlas de 60 pl. in-fol. 22 fr.

Le but que s'était proposé M. Leblanc avait été de donner aux élèves des notions exactes sur les constructions des organes et des pièces principales des machines, de populariser, pour ainsi dire, l'intelligence de leurs fonctions et du jeu de leurs différentes parties, et d'offrir aux personnes qui se livrent à ce genre d'études, des moyens sûrs et prompts, non-seulement de dessiner avec une certaine correction, d'après des machines déjà exécutées, mais aussi de tracer à l'avance des épures, pour les constructions de toutes sortes de combinaisons ou d'appareils qui ne servent encore qu'en projet.

Ce double but a été complétement atteint. Nous ne croyons pouvoir mieux faire que de reproduire les titres des principales divisions de ce choix de modèles devenu classique. Exercices de géométrie ; — projection, — courbes excentriques et engrenages, — détails et ensemble de machines, — levé de machines, tracé des ombres, modeles et dessins lavés.

Tous les objets que M. Leblanc a choisis comme exemples ou modèles, sont sanctionnés par l'expérience. Il a sévèrement rejeté tout accessoire inutile.

« Quand toutes les parties d'un ensemble, dit-il, quoique simples sont disposées de manière à concourir au but général et à se prêter un mutuel appui, il en résulte une convenance, un accord, qui plaisent aux yeux beaucoup plus que ne sauraient le faire les ornements inutiles et dès lors nuisibles. »

Le Bouteiller. **L'Exposition,** journal de l'industrie et des arts utiles. Collection de dessins d'architecture, ameublements, bronzes et dorures, équipages et sellerie, mécaniques et outils. Chaque dessin. 50 cent.

Lecoq. **Le Paysagiste**. Nouveau traité d'architecture de parcs et jardins (école moderne). In-fol., orné de 32 pl. et de plus de 100 plans de jardins, grav. sur acier. 50 fr.

Lecoq de Boisbaudran (H.). **Éducation de la mémoire pittoresque**. Application aux arts du dessin, 1 vol. in-8, 85 p.

Leroy (C.-F.-A.), ancien professeur à l'Ecole Polytechnique et à l'École Normale supérieure. **Traité de Stéréotomie**, comprenant les **Applications de la Géométrie descriptive à la Théorie des Ombres**, **la Perspective linéaire**, **la Gnomonique**, **la Coupe des Pierres et la Charpente.** Troisième édition, revue et annotée par M. E. Martelet, ancien élève de l'École Polytechnique, professeur de Géométrie descriptive à l'École centrale des Arts et Manufactures. In-4, avec atlas de 74 pl. in-fol. 26 fr.

Marie (F.-C.-M.). **Principes du dessin et du lavis** de la carte topographique. 1 vol. in-4 obl., de 92 p. accompagné de 9 modèles, dont 8 coloriés avec soin. 15 fr.

Merly (J.-F.). Album du trait théorique et pratique, **Epures, plans, coupes de charpentes et de pierres de taille** pour servir aux travaux de construction. 2 vol. in-fol. oblong. 20 fr.
Chaque partie se vend séparément. 10 fr.

M. Merly n'est pas un savant qui doit s'efforcer d'oublier la technologie de l'École pour parler le langage ordinaire de la plupart de ses auditeurs. M. Merly est, au contraire, un ouvrier, un homme pratique, qui a cherché d'abord à se faire comprendre par les compagnons de travail auxquels il s'adressait, et qui est arrivé à des démonstrations si claires, à des explications si naturelles, que les théoriciens eux-mêmes ont bientôt eu à s'inspirer de ses travaux. Rien de plus net que ses dessins, rien de plus simple que ses préceptes; c'est en quelque sorte en se jouant qu'il arrive aux épures les plus compliquées. L'*Album du traité théorique et pratique* restera comme une preuve des résultats que peuvent donner l'intelligence, la persévérance et l'amour du travail.

Morin (le général) et Tresca. Dessins coloriés pour l'enseignement de la **mécanique**, 30 planch. in-folio. 40 fr.
Chaque pl. séparément. 2 fr.

Muffat. **Collection de machines à vapeur** pour servir aux études pratiques de **dessin et de lavis**, contenant tous les types de machines à vapeur employées dans l'industrie. Elle se compose de 12 pl.
Collection coloriée. 30 fr.
— noire. 20 fr.
Le cartonnage en sus. 2 fr. 50
Planche séparée, coloriée. 3 fr.
— noire. 2 fr. 25

Normand (Ch.), architecte. **Manuel de géométrie, de dessin linéaire et d'arpentage.** 24 pl. in-fol., avec 1 vol. de texte. 10 fr.

— Parallèles de diverses méthodes du **dessin de la perspective**, d'après les auteurs anciens et modernes. 2 vol. in-4 dont un de planches. 30 fr.

— **Le Guide de l'ornemaniste**, ornements pour la décoration des bâtiments, tels que frises, arabesques, panneaux, rosaces, candélabres, vases, etc., gravés au trait et précédé d'un texte. 36 pl. in-folio. 25 fr.

— et Reboult. **Etudes d'ombres et de lavis** appliquées aux ordres d'architecture, ou Vignole ombré. 15 pl. in-fol. sur acier avec texte. 18 fr.

Normand (V. Normand, dans la section d'Architecture).

Oppermann. **Album pratique de l'art industriel et des beaux-arts.** Recueil d'ornements et d'accessoires décoratifs modernes, avec prix de revient par pièce, par mètre carré et par mètre courant, paraissant tous les deux mois par livraisons de 5 à 6 pl. avec texte. Prix de l'abonnement. Paris, 15 fr. Départements, 18 fr. 8 années ont paru de 1857 à 1864. Chaque année. 15 f.

Ortolan (A.). **Etude des machines à vapeur marines**, d'après son traité élémentaire. Deux tableaux de très-grande dimension pour l'enseignement (1 mètre sur 1 mètre 25 c.) accompagnés chacun d'une légende descriptive et explicative : Premier tableau, **machine à balancier.** Deuxième tableau, **machine à hélice, à connexion et à mouvement direct**. Chaque tableau, en noir, 12 fr.; en couleur, 17 fr.; en couleur, verni, collé sur toile avec rouleaux. 25 fr.

— et Mesta. Guide pratique pour l'**étude du dessin** et de son application aux professions industrielles. (Bibliothèque des professions industrielles).

Perpigna, Robinet, Dussart, etc. Répertoire de **l'industrie étrangère**, ou Dessins et descriptions des machines les plus importantes brevetées à l'étranger. 2 parties en 1 vol. gr. in-8, 290 p., accompagné d'un atlas gr. in-fol. de 51 pl. 60 fr.

En publiant cet ouvrage, les auteurs voulaient répandre et populariser en France les connaissances des machines les plus ingénieuses et des procédés les plus utiles brevetés en pays étrangers.

Leur choix a été heureux. Ils font successivement passer sous les yeux des lecteurs les machines à débiter et à refendre les bois, le compteur pour mesurer les gaz, les métiers à fabriquer les rubans, les machines à mortaiser les bois, les matières à tisser, les presses mécaniques pour l'impression en taille-douce, les machines à percer et à découper les tôles, différentes espèces de turbine, des machines à vapeur perfectionnées, etc., etc.

Les planches de l'atlas, complément de cette publication, ont été exécutées avec beaucoup de soin par M. Robinet, élève du Conservatoire des Arts et Métiers.

PETIT (H.), chef de section au chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, admissible au grade de conducteur des ponts et chaussées. Tables pour le **tracé des courbes circulaires et elliptiques de raccordement**, accompagnées de problèmes et d'applications. In-8 avec pl. 4 fr. 50

Ces Tables comprennent la résolution de tous les cas de la trigonométrie, le tracé des courbes circulaires, par abscisses et ordonnées prises soit sur la corde, sur la flèche ou sur la tangente, le tracé de l'ellipse par abscisses et ordonnées, etc.

L'ouvrage de M. Petit est d'une utilité incontestable ; les nombreux problèmes qui y sont démontrés et résolus expliquent l'usage des diverses tables.

PETIT (STANISLAS). **Dessin linéaire industriel**, nouveau cours élémentaire de dessin linéaire. 70 pl. demi-raisin. 14 fr.
Chaque planche. 20 c.

— **Le praticien industriel**, recueil de modèles élémentaires de dessins au lavis, à plusieurs couleurs, appliqué à la mécanique et à la construction. 92 pl. demi-raisin. Chaque planche, 1 fr. 92 fr.

PETIT-COLIN et CHAUMONT. **Portefeuille des principaux appareils**, machines, instruments et outils employés actuellement dans les différents genres de l'industrie française et étrangère et dans l'agriculture, dessiné et gravé par MM. Petit-Colin et H. Chaumont, anciens élèves de N. Leblanc et premier prix du Conservatoire des arts et métiers; ouvrage utile à tous les ingénieurs, aux constructeurs et propriétaires de machines et à tous les élèves des écoles professionnelles. 1 vol. de texte in-folio oblong et un atlas in-folio de 88 planches. 40 fr.

L'énumération des planches dont est composé ce Portefeuille nous entraînerait trop loin : nous nous bornerons à citer une machine à vapeur hydraulique, les machines à rhabiller les meules, à scier les pierres, à fabriquer les tuyaux de drainage, à faire les tenons, à couper la tôle, à raboter les métaux; les charrues draineuses, les coupe-racines, les grues hydrauliques, les râpes, les diverses espèces de turbines, les presses hydrauliques, les marteaux pilons, les cisailles americaines, les freins automoteurs, etc.

Toutes ces planches ont été exécutées en grand format et avec une précision remarquable.

POUDRA. **Traité de perspective relief.** 1 vol. in-8, 224 p. et 1 atlas, 18 planches, oblong. 15 fr.

ROBINET. **Cours de lavis**, appliqué à l'enseignement du **dessin d'architecture et des machines**, avec un texte descriptif. 3e éd., gr. in-fol., 12 p. et 50 pl. 25 fr.

— **Cours complet de dessin des machines**, 150 pl. in-fol., avec un texte explicatif. 30 fr.
On vend séparément :
Les 10 planches de la géométrie et de la perspective. 2 fr.
Les 12 planches de coupe des pierres. 2 fr. 50
Les 29 planches d'architecture. 6 fr.
Les 99 planches de mécanique. 20 fr.
Le texte explicatif des 150 planches. 3 fr.

SALLERON (J.), ingénieur. Modèles mécanisés de **machines fixes, locomotives, locomobiles, marines**, etc., fonctionnant à la main par une manivelle. Tableaux parus :
Machines Watt. 20 fr.
Mac. à hélice, vaisseau *la Bretagne*. 25 fr.
Machines de bateau à hélice. 30 fr.
Machines de bateau à aubes. 25 fr.
Machines de locomotives. 25 fr.

Les livres sont souvent insuffisants pour faire comprendre le jeu des machines; le dessin même ne représente qu'imparfaitement l'action des organes. Les modèles mécanisés de M. Salleron ne laissent rien d'obscur, rien d'inexpliqué, même pour les gens du monde les moins familiarisés avec les lois de la mécanique. On tourne une petite manivelle placée derrière chacun des tableaux, et sur-le-champ la machine en mouvement permet de se rendre compte du but et de l'action de chacun des organes dont elle est composée.

SEMPÉ. **Recueil de dessins**, d'ornements et d'architecture, lith., 72 pl. in-4.

SIMILIEN. **Des projections obliques.** In-8, 44 p. et 14 pl. 3 fr.

— **Des opérations géométriques.** In-8, 45 p. et 6 pl. 2 fr.

SUTTER. **Nouvelle Théorie simplifiée de la perspective**, contenant une introduction historique, les principes de géométrie appliquée au dessin, le tracé des tableaux d'histoire, d'intérieur, de paysage, de marine, la théorie des ombres, la décoration des plafonds et des notions sur la perspective des théâtres; approuvée par l'Académie des beaux-arts. Gr. in-4, VII-52 p., frontispice et 60 pl. 40 fr.

TRIPON (J.-B.). **Cours de dessin** méthodique, progressif et complet, exécuté au lavis. 28 pl. (cont. dans un carton). 12 fr.

VALLÉE (L. L.). **Traité de la science du dessin**. 1 vol. in-4, 456 p. avec atlas in-4, 55 planches.

— **Traité de la géométrie descriptive.** 1 vol. in-4, 355 p., avec atlas in-4, 50 pl. 20 fr.

YSABEAU. Guide de **Perspective pratique** comprenant la perspective linéaire et aérienne, et les notions du dessin linéaire, à l'usage des ouvriers. 1 vol., 164 p. et 11 pl. in-4. 3 fr.
Bibl. des prof. indust. et agric., série A, n° 7.

ZORÈS (CH. FERDINAND). **Album** contenant les profils, assemblages, dispositions, armatures, suspensions et entretoisages des fers Zorès, suivis de leurs diverses applications à la construction. 1 vol. in-fol. orné de 16 pl. 25 fr.

NOTICE.

SUBSCRIBERS living in Cambridge may obtain their numbers at the University Bookstore. Exchanges may be seen at C. H. 30. Voluntary contributions are solicited, and may be sent through the Post-Office, or handed in to either of the Editors:—

E. D. MCCARTHY,	C. H. 30.
G. E. CHAPMAN,	Mt. Auburn St.
T. L. CHADBOURNE,	H'y 17.
G. P. STEVENS,	S. 28.
E. D. BOIT,	S. 30.
F. BROOKS,	S. 28.

Anonymous contributions are rejected.

EXCHANGES received since our last issue:—Amherst College Magazine, and Nassau Literary, for September; Yale Literary for October.—Where are the others?

THE HARVARD MAGAZINE

Claims only to be the exponent of the thoughts and feelings of the students of Harvard College. It depends on a personal interest in the writers, rather than on the intrinsic merits of the articles themselves, to give it zest and interest. It addresses itself, therefore, chiefly to the undergraduates of Harvard, and on them it rests for its support. To graduates who are desirous of following the progress of their Alma Mater, the Magazine is offered as a faithful index of the life and growth of the College.

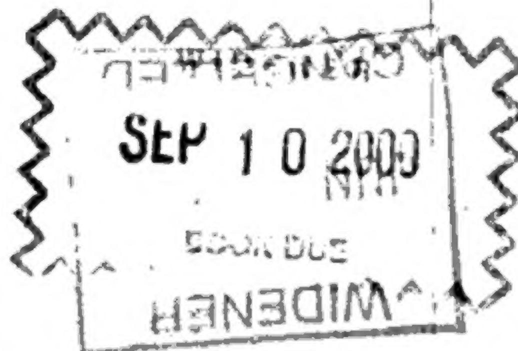
The present volume will be published by the Editors. In assuming this responsibility, they ask the assistance of their fellow-students and their friends outside the College. The Magazine will contain more matter than heretofore, and the cost of publication will be somewhat increased. A larger number of subscribers, therefore, is necessary to secure the Editors from loss.

All communications by mail may be directed to the "Editors of the Harvard Magazine."

Single copies of the Magazine may be obtained at the University Bookstore.

To Contributors. — For the convenience of both Editors and printers, contributors are requested to use white letter-paper, to write on one side only, and to indicate their paragraphs distinctly.


HDI
HW 1WKN W


SEP 1 0 2000
WIDENER

